

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
Факультет електроніки  
кафедра електронних приладів та пристроїв

«На правах рукопису»  
УДК 621.3.078

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Писаренко Л.Д.  
(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 171 Електроніка**

**на тему:**

**«Електронна система безконтактного вимірювання рівня рідини»**

Виконав:

студент II курсу, групи ДЕ-81мп

Тищенко Олексій Володимирович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник: старший викладач, Бевза О.М.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант:

\_\_\_\_\_

(назва розділу)

\_\_\_\_\_

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент:

\_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки  
Кафедра електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною  
програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 171

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)                      (ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

Тищенко Олексію Володимировичу

1. Тема дисертації **«Електронна система безконтактного вимірювання  
рівня рідини»**

науковий керівник дисертації **старший викладач Бевза Олег Миколайович**  
затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: **електронна система для вимірювання рівня рідини**

4. Вихідні дані: Напруга живлення від 5 до 36В, точність вимірювання  $\pm 1$ мм,  
робоча дистанція системи до 2м.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Структурна схема, схема  
електрична принципова, друкована плата модуля датчика, експериментальне  
дослідження роботи датчика, стартап-проект.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Структурна схема, схема  
електрична принципова, друкована плата модуля датчика.

7. Перелік публікацій:

- 1) Електронна система безконтактного вимірювання рівня рідини: матеріали  
XIII-ї науково-практичної конференції «Перспективні напрямки сучасної  
електроніки» / Тищенко О.В., Курпас Д.В., Бевза О.М. – КПІ ім. Ігоря  
Сікорського, ФЕЛ, – 4 квітня 2019 р. – с. 171-175.

2) Мікроконтролерна система керування головним світлом автомобіля: матеріали XII-ї науково-практичної конференції «Перспективні напрямки сучасної електроніки» / Тищенко О.В., Бевза О.М. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕМ, – 19-20 квітня 2018 р. – с. 93-98.

8. Дата видачі завдання: 01.09.2019

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів магістерської дисертації	Строк виконання етапів	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по системам та методам вимірювачів рівня рідини	04.09.2019 - 22.09.2019	
2	Розробка структурної, електричної принципової схеми системи. Вибір елементної бази.	25.09.2019 - 06.10.2019	
3	Розрахунок параметрів та характеристик електронної системи	09.10.2019 - 20.10.2019	
4	Розробка друкованої плати. Технологія виготовлення плати. Розрахунок параметрів.	23.10.2019 - 03.11.2019	
5	Експериментальне дослідження характеристик датчика.	06.11.2019 - 17.11.2019	
6.	Розробка стартап-проекту.	20.11.2019 - 25.11.2019	
7.	Оформлення графічної частини та пояснювальної записки	25.11.2019 - 10.12.2019	

Студент гр. ДЕ-81мп

\_\_\_\_\_

**Тищенко О.В.**

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

**Бевза О.М.**

[illegible]

# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до дипломного проекту**

на тему:

**«Електронна система безконтактного вимірювання рівня рідини»**

Київ – 2019

## **РЕФЕРАТ**

### **Електронна система безконтактного вимірювання рівня рідини**

Магістерська дисертація освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» спеціальності 171- Електроніка, спеціалізації – Електронні прилади та пристрої. Тищенко Олексій Володимирович. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕ-81мп. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 70 с., 31 іл., 15 табл.

**Ключові слова:** вимірювання рівня, радарний рівнемір, радар, NB-IoT.

**Короткий зміст роботи:** Магістерська дисертація присвячена дослідженню та розробці електронної системи вимірювання рівня на основі радарного методу.

У вступі описана задача роботи та актуальність теми.

В роботі представлений огляд подібних систем для вимірювання рівня рідини, описані головні сфери застосування, переваги та недоліки відповідних рішень.

В дисертації приведена розробка структурної схеми та схеми електричної принципової.

Розроблена друкована плата модуля датчика. Описана технологія виготовлення друкованої плати, проведений розрахунок мінімальної ширини доріжок плати.

Був поставлений експеримент – дослідження робочої дистанції датчика.

Результати експериментальних досліджень відрізняються від теоретичних розрахунків на 5-10 %. Дана похибка не впливає на експлуатаційні характеристики системи.

В роботі представлена пропозиція стартап-проекту розробленої системи.

## **АНОТАЦІЯ**

В магістерській дисертації представляється огляд науково-технічної літератури по сучасним методам вимірювання рівня рідини такого як паливо (бензин, дизель) та інших хімічних рідин.

Описані перспективи та переваги використання радарного рішення для вимірювання рівня рідини.

Результати експериментальних досліджень відрізняються від теоретичних розрахунків на 5-10 %. Дана похибка не впливає на експлуатаційні характеристики.

## **S U M M A R Y**

The dissertation presents an overview of scientific and technical literature on modern methods for measuring the level of a liquid such as fuel (gasoline, diesel) and other chemical fluids.

Describes the prospects and advantages of using radar solution for measuring fluid level.

The results of experimental tests differ from theoretical calculations by 5-10%. This error does not affect the performance.



## З М І С Т

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ .....	10
В С Т У П .....	11
1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ПО ЕЛЕКТРОННИМ СИСТЕМАМ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ .....	13
1.1. Радарний метод вимірювання рівня рідини .....	14
1.2. Ультразвуковий метод вимірювання рівня рідини .....	17
1.3. Поплавковий метод вимірювання рівня рідини .....	19
1.4. Буйковий метод вимірювання рівня рідини .....	22
1.5. Гідростатичний метод вимірювання рівня рідини .....	24
Висновки до розділу .....	26
2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ	
2.1. Розробка структурної схеми електронної системи безконтактного вимірювання рівня рідини .....	27
2.2. Вибір та обґрунтування компонентів електричної схеми системи.....	31
2.3. Розробка схеми електричної принципової електронної системи безконтактного вимірювання рівня рідини.....	36
2.3.1. Розрахунок номіналів елементів модуля понижуючого перетворювача напруги.....	43
2.3.2. Розрахунок струму заряду Li-Ion акумулятора.....	43
2.3.3. Розрахунок споживаної потужності електричної схеми .....	44
2.4. Розрахунок точності вимірювань та аналіз діаграми направленості датчика A111 .....	44
Висновки до розділу .....	47
3. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ .....	48
3.1. Розрахунок мінімальної ширини доріжок друкованої плати .....	50
Висновки до розділу .....	52
4. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОЇ ДИСТАНЦІЇ ТА ТОЧНОСТІ ДАТЧИКА .....	53
Висновки до розділу .....	59
5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	
5.1. Опис ідеї проекту.....	60
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	61
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	61
5.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту .....	63
Висновки до розділу .....	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

					МРП.171.081.016 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електронна система безконтактного вимірювання рівня рідини			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Тищенко О.В.									
Перевір.		Бевза О.М.							9	70	
								КПІ Ім. Ігоря Сікорського			
Н. Контр.		Чадюк В.О.									
Затверд.		Писаренко Л.Д			Пояснювальна записка						

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

FMCW	Frequency-modulated continuous-wave (Безперервне модульоване по частоті радіовипромінювання)
NB-IoT	Narrow Band Internet of Things (Вузька смуга Інтернету речей)
АСУ ТП	Автоматизована система управління технологічними процесами
SPI	Serial Peripheral Interface (Послідовний периферійний інтерфейс)
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter (Універсальний асинхронний приймач/передавач)

## ВСТУП

Рівнемір – є приладом, призначеним для безперервного вимірювання в промисловому масштабі рівнів рідких і сипучих продуктів, що знаходяться в різних ємностях, резервуарах, технологічних сховищах і апаратах.

Сучасні системи автоматизації виробництва вимагають статистичних та інформаційних даних, що дозволяють оцінити витрати, запобігти збиткам, оптимізувати управління виробничим процесом, підвищити ефективність використання сировини [1]. Цей постійно зростаючий попит на інформацію призводить до необхідності застосування в системах контролю не простих сигналізаторів, а систем, що забезпечують безперервне вимірювання.

На сьогодні існує декілька варіантів систем вимірювання рівня рідини, які діляться за своїм типом та принципом роботи: ємнісні, поплавкові, магнітні, оптичні, радіочастотні, ультразвукові. Багато таких систем мають ряд недоліків (громіздкі конструктивні параметри, низька розподільна здатність вимірювань, неуніверсальність систем тощо).

Сфера застосування рівнемірів є дуже широкою. Вони використовуються для вимірювання рівня рідин, що знаходяться під нормальним або підвищеним тиском, у відкритих та закритих резервуарах, наприклад:

- виробництво рідких харчових продуктів, напоїв, мінеральної води, пива та алкоголю;
- контроль рівня рідин палива, тормозної рідини, води в омивачі, тосолу транспортних засобів;
- хімічна промисловість;
- датчики рівня води в гірських річках для попередження потопів.
- нафтогазові комплекси;
- агропромисловість.

*Метою дослідження в даній дисертації є розроблення універсального рішення моделі вимірювача рівня рідини за допомогою радарного методу. Радарні рівнеміри набирають популярності у світі, мають ряд незаперечних*

переваг при використанні в широкому спектрі сфер застосування. Виходячи з цього була обрана фізико-математична модель на основі радару.

У відповідності з метою дисертаційної роботи були поставлені такі завдання:

- аналіз відомих моделей та видів рівнемірів рідини;
- розробка структурної та електричної принципової схеми рівнемі;
- визначення основних електричних характеристик та розрахунок параметрів схеми;
- розроблення друкованої плати модуля датчика-радару;
- розробка складального креслення системи кріплення друкованої плати;

Предметом дослідження є аналіз параметрів системи: енергоспоживання, швидкодії та точності вимірювання рівня рідини електронної системи в порівнянні з подібними існуючими системами.

# 1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ПО ЕЛЕКТРОННИМ СИСТЕМАМ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ

Вимірювання рівня – поширений вимірювальний процес в нафтопереробній, нафтохімічній, хімічній та інших галузях промисловості. Рівень робочого середовища є технологічним параметром, інформація про який необхідна для контролю режиму роботи технологічного апарату, управління виробничим процесом. Засоби контролю рівня є компонентами комп'ютерних систем, а також систем автоматизації виробництва, якість яких значною мірою визначає ефективність цих систем [2].

Рівнемір являє собою прилад або систему, яка призначена для визначення рівня вмісту у відкритих і закритих резервуарах, сховищах та інших ємностях. Під вмістом маються на увазі різноманітні види рідин, в тому числі і газоподібні, а також сипучі та інші матеріали. Рівнемірами також називаються датчики/сигналізатори рівня, перетворювачі рівня [3].

У промисловому виробництві на даний час існує різноманітний ряд технічних засобів, що вирішують завдання вимірювання та контролю рівня [2]. Засоби вимірювання рівня реалізують різноманітні методи, засновані на різних фізичних принципах. До найбільш поширених методів вимірювання рівня, які дозволяють перетворити значення рівня в електричну величину і передавати її значення в системи АСУ ТП.

Рівнеміри можуть бути контактними або безконтактними. Контактні рівнеміри діляться на ємнісні, магнітні, буйкові (поплавкові), гідростатичні. Якщо ділити рівнеміри на безконтактні – їх можна розподілити на ультразвукові, оптичні та радарні методи вимірювання.

З розвитком вимірювальної техніки кожен метод набуває характерного набору своїх технічних реалізацій, які в кожному конкретному випадку мають як переваги, так і недоліки.

## 1.1. Радарний метод вимірювання рівня рідини

Безперервне вимірювання рівня по радарному принципу ґрунтується на теорії розповсюдження електромагнітних хвиль британського фізика Джеймса Максвелла, створеної ним в 1865 році. Він припустив, що силові лінії мінливого магнітного поля оточені колоподібними силовими лініями електричного поля, навіть за відсутності електричних провідників. Натхненний цією теорією, німецький фізик Крістіан Хюльсмайер в 1904 році в Дюссельдорфі розробив телемобілоскоп і запатентував цей перший радарний прилад. Завдяки цьому пристрою він став відомий як винахідник першого радара [2].

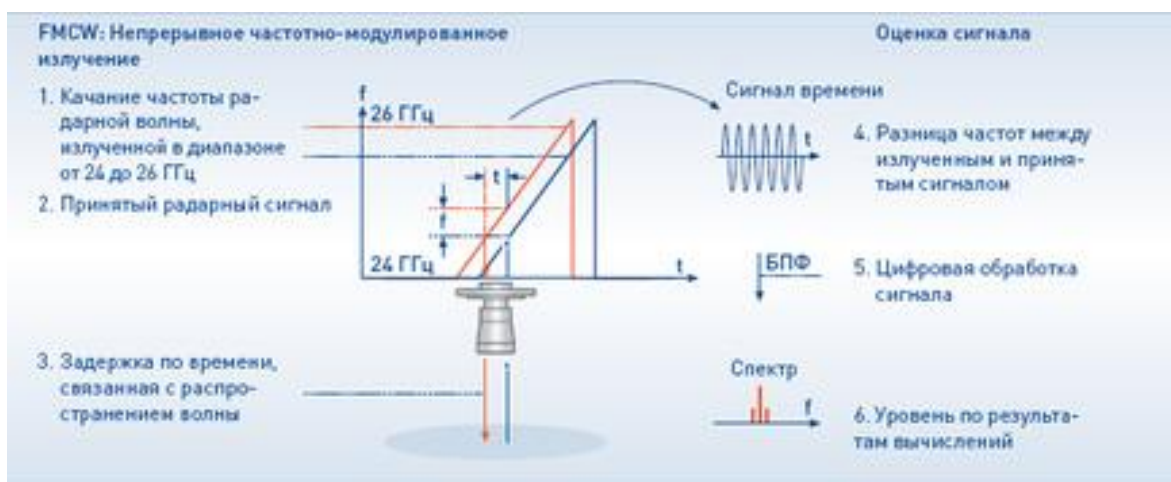


Рис. 1.1. Принцип вимірювання радарним рівнеміром [3]

- 1 – Коливання частоти радарної хвилі, що випромінюється в діапазоні від 24 до 26 ГГц;
- 2 – Прийнятий радарний сигнал; 3 – Затримка по часу, що зв'язана з розповсюдженням хвилі;
- 4 – Різниця частот між випроміненим та прийнятим сигналом; 5 – Цифрова обробка сигналу;
- 6 – Рівень по результатам обчислень

Спеціалісти задумувались про можливість використання радіохвиль для спостереження віддалених об'єктів вже давно: в 1886 році німецький вчений-фізик Генріх Герц звернув увагу на те, що радіохвилі здатні відбиватись металевими та діелектричними тілами, а в 1897 році російський вчений Попов відкрив, що радіохвилі відбиваються від металевих частин кораблів та їх корпусу. Винахідник радара Крістіан Хюльсмайер (Christian Huelsmeyer) родився в 1881 році в місті Ейдельштедт в Нижній Саксонії. Ще будучи

школярем він експериментував з пристроєм Герца і помітив, що металічні дзеркала випромінювали електричні хвилі. Таким чином, був зроблений висновок, що, можливо, за допомогою таких хвиль можна буде виявити в тумані кораблі та інші металеві об'єкти. У 1904 році він отримав патент на пристрій, в якому ефективність опромінення радіохвилями використовувалась для виявлення кораблів. Через неідеальність конструкції розробки Хюльсмайера практичного прикладу не знайшли. Потребувалось не менше тридцяти років, щоб ідея застосування радіохвиль змогла б бути використана для створення реальної апаратури [4].

Нагальна необхідність у радарних рівнях з'явилася в 70-80-х роках минулого століття, коли контактні методи вимірювання рівня (поплавкові, буйкові і т. д.) досягнули своєї межі за надійністю, затратами на обслуговуванні, точності і тому почали стримувати темпи автоматизації управління резервуарними парками. Вважається, що в 1976 році фірма SAAB найпершою в світі використала радарну технологію для контролю рівня нафти, що перевозиться супертанкерами. До цього моменту для подібної цілі використовувались вимірювальні системи, основний недолік яких полягав у великій залежності точності вимірювання від таких фізичних параметрів, як температура, тиск та густина. Рівнеміри, засновані на радарних методах вимірювання, практично не мають всіх цих недоліків. Саме це і забезпечило їх широке застосування в найрізноманітніших галузях промисловості [4].

Прототипом радарного рівнеміра явились радіовисотоміри (радіодальноміри), які широко застосовувались у військовій, головним чином авіаційній, промисловості. У цих пристроях для оцінювання швидкості використовувались виміри затримки прийнятого радіосигналу відносно випроміненого. Але оперувати вже відпрацьованими у військовій промисловості технічними рішеннями для створення радарних рівнемірів не виходило через низьку надійність вакуумних генеруючих НВЧ-пристроїв та їх високу вартість. Справа у тому, що для радіовисотомірів, які використовувались у військовій промисловості, не вимагалось тривалого ресурсу неперервної

роботи, в той час, як для радарних рівнемірів цей ресурс повинен був вимірюватись роками. Прорив на даному напрямленні відбувся пізніше, коли на ринку з'явилися комерційно доступні, надійні напівпровідникові НВЧ-генератори, а також високі синтетичні синтезатори частоти та сигнальні процесори, які дозволили порівняно просто простими методами реалізувати обробку сигналу, гарантуючи необхідну високу точність вимірів [4].

Сигнал, що випромінюється відбивається від поверхні середовища, що випромінюється і з невеликою часовою затримкою  $t$  приймається антеною. Радарний принцип, що використовується називається FMCW (безперервне частотно-модульоване випромінювання). При радарному FMCW вимірюванні використовується високочастотний сигнал, частота випромінювання якого під час вимірювання лінійно зростає (так зване хитання частоти). Випромінюваний сигнал відбивається від поверхні вимірюваного середовища і приймається з невеликою часовою затримкою  $t$ . Час затримки розраховується за формулою  $t = 2d / c$ , де  $d$  - це дистанція до поверхні продукту, а  $c$  - це швидкість світла в газі над поверхнею середовища. На підставі частоти посланих і прийнятих сигналів розраховується різниця  $\Delta f$ , що використовується при подальшій обробці сигналу.

Різниця частот прямо пропорційна дистанції. Велика різниця між частотами відповідає більшій дистанції, і навпаки. Різниця частот  $\Delta f$  трансформується в частотний спектр за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), на підставі якого потім розраховується дистанція. Рівень розраховується як різниця між висотою резервуара і отриманої дистанцією.

#### Переваги такого рівнеміра:

- висока точність вимірювання рівня;
- ідеально підходить для динамічних умов процесу;
- низьке енергоспоживання при правильній побудові електричної схеми.

#### Недоліки:

- висока ціна рівнеміра.



### Сфери застосувань радарних рівнемірів.

Ці рівнеміри часто використовуються як для агресивних середовищ, так і для динамічних умов процесу, таких як високі температури або коливання тиску. Оскільки прямий контакт із середовищем не потрібен, принцип вимірювання ідеально підходить для гігієнічних застосувань.

Процеси виробництва йогуртних продуктів проходять контрольовано у високо стерильних умовах. Це ставить особливі вимоги до очищення всіх частин, які контактують із середовищем. Отже, процеси очищення, що використовуються надзвичайні, оскільки будь-яке забруднення зовнішніми бактеріями призводить до втрати всієї партії. Принцип безконтактної радіолокації не впливає на зміну щільності йогурту.

Крім того, безконтактне вимірювання не чутливе до впливу тиску та вакууму і підходить для вимірювання рівня наповнення в резервуарах. Для розкладання бокситу в цій заявці до змішувача додають розведений розчин їдкого натру і змішують з бокситом. Важливо підтримувати рівень наповнення у визначеному діапазоні, щоб оптимізувати хід процесу. Радіолокаційний вимірювальний прилад виявляє поточний рівень наповнення і передає дані в систему управління.

Один із перспективних прикладів застосування рівнемірів такого типу є використання в якості датчиків рівня палива в автомобільній промисловості. На сьогодні багато європейських компаній вже розробили та ввели в експлуатацію такі датчики.

### **1.2. Ультразвуковий метод вимірювання рівня рідини**

Короткі ультразвукові імпульси в діапазоні від 18 до 70 кГц випромінюються сенсором в напрямку вимірюваного середовища, відбиваються від її поверхні і знову уловлюються сенсором. Імпульси поширюються зі швидкістю звуку, при цьому час між моментом випромінювання і прийому сигналу залежить від рівня заповнення резервуара. Новітня мікропроцесорна технологія і програмне забезпечення гарантують надійне виявлення ехо-сигналу

рівня навіть при наявності помилкових сигналів, відбитих від внутрішніх конструкцій, і високоточне обчислення дистанції до поверхні вимірюваного середовища. Щоб компенсувати вплив температури на час проходження акустичного сигналу, вбудований температурний датчик визначає температуру в резервуарі [3].

Завдяки простому введенню габаритних розмірів ємності і вимірної дистанції розраховується сигнал, пропорційний рівню. Таким чином, відсутня необхідність в заповненні ємності для виконання точної настройки.

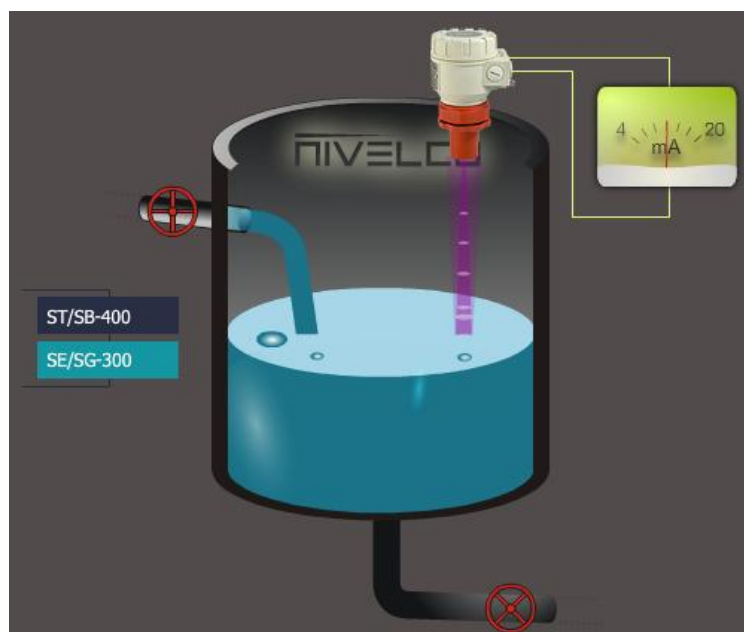


Рис. 1.2. Ультразвуковий рівнемір [21]

Ультразвукові рівнеміри підходять для вимірювання дощової і стічної води, для рідин з низьким або високим рівнем забруднення, з вмістом твердих частинок або шламу. При роботі з сипучими речовинами до вимірювального приладу пред'являються інші вимоги, ніж при роботі з рідинами. Адже поверхня продукту, що вимірюється при цьому нерівна і часто являє собою насипний конус. Багато речовин викликають інтенсивне утворення пилу.

Робота ультразвукових рівнемірів засновується на припущенні, що ультразвуковий імпульс не змінює швидкість розповсюдження. Слід оминати таких застосувань, де над поверхнею рідин утворюється випаровування або густі пари. В подібних випадках рекомендується використовувати радарні рівнеміри. Так як ультразвуковий імпульс розповсюджується в повітряному

середовищі, ультразвукові рівнеміри не можна використовувати в процесах зі значними вакуумметричним тиском [5].

Конструкційні матеріали, які використовуються, обмежують робочі температури до 70°C і робочий тиск до 3 бар. Стан поверхні рідини також має велике значення. Деяка турбулентність припустима, але піна частіше за все послаблює відбитий ехосигнал.

Внутрішні конструкції резервуарів, наприклад, труби, перегородки і т.д., викликають хибні відбиття, але в більшості рівнемірів закладені спеціальні програмні алгоритми, котрі примушують відслідковувати або ігнорувати ці відбиття [5].

#### Переваги ультразвукових рівнеміра:

- вимірювання проводиться незалежно від властивостей носія;
- підходить для абразивних та агресивних середовищ завдяки безконтактному вимірюванню.

#### Недоліки:

- обмеження роботи рівнеміра від зовнішніх параметрів (температура, тиску, стан поверхні рідини або резервуару).

#### Сфери застосувань ультразвукових рівнемірів.

Принцип вимірювання, що використовується в ультразвукових рівнемірах, робить їх придатними для різних застосувань. Це робить їх особливо корисними як у відкритих басейнах, так і при вимірюванні рівня стічних вод, а також у резервуарах хімічних та молочних установок.

Рівень забруднення води або замулення в басейні не впливає на результат вимірювання. Більше того, той факт, що немає прямого контакту із поверхнею, також дозволяє застосовувати суворі гігієнічні вимоги.

### **1.3. Поплавковий метод вимірювання рівня рідини**

Принцип роботи поплавкового рівнеміра полягає в наступному. Вимірювальна камера встановлюється впритул до ємності таким чином, щоб умови в вимірювальній камері і в ємності були однаковими. Поплавок

оснащений системою постійних магнітів, призначені для передачі вимірних значень на локальний індикатор. Система магнітів поплавок або активує магнітні пластини (прапорцевий індикатор) відповідно до рівня рідини, або переміщує магнітний показчик в індикаторі в залежності від обраного способу індикації. Індикація рівня здійснюється за допомогою зміни положення групи вертикально розташованих магнітних прапорців або виходячи з положення магнітного показчика [3].

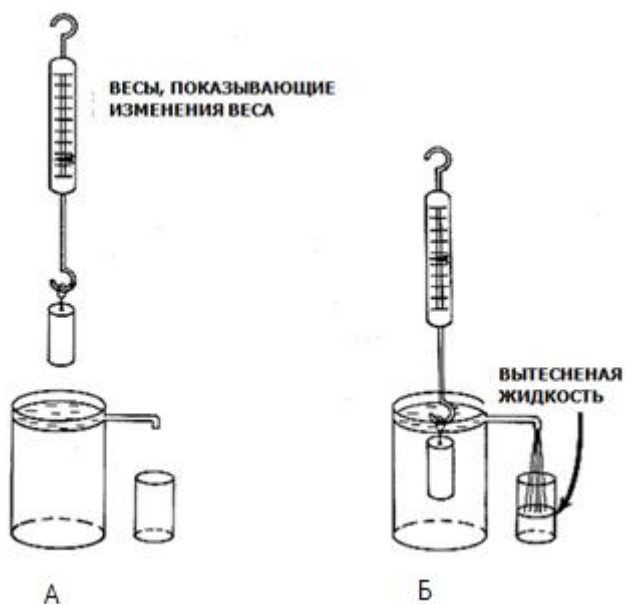


Рис. 1.3. Принцип роботи поплавкового рівнеміра [22]

а) предмети висить над поверхнею рідини; б) предмет занурений в рідину

Ємнісний рівнемір заснований на принципі вимірюванні рівня рідини в резервуарі за допомогою електричної ємності датчика.

При установці електрода для вимірювання рівня в резервуарі утворюється конденсатор, металевий стрижень електрода виступає в якості однієї з пластин конденсатора, а стінка резервуара (або опорним електрод в неметалічних резервуарах) діє як інша пластина. При підвищенні рівня повітря або газу, електрод, витісняється матеріалом, що має інше значення діелектричної постійної. Зміна ємності конденсатора відбувається через зміни діелектричних властивостей середовища між пластинами. Ця зміна реєструється електронними

ланцюгами для вимірювання ємності та перетворюється в команду для виконавчого реле або в пропорційний вихідний сигнал [5].

Залежність для ємності конденсатора виражається наступним рівнянням:

$$C = K (A/D);$$

$C$  = ємність в фарадах;

$K$  = діелектрична постійна матеріалу;

$A$  = площа пластин в  $m^2$ ;

$D$  = відстань між пластинами в метрах.

Діелектрична постійна – це числове значення по шкалі від 1 до 100, котра характеризує спроможність діелектрика (середовища між пластинами) утримувати електростатичний заряд. Діелектрична постійна матеріалу визначається на тестовому стенді. В реальних умовах вимірювання ємності відбувається різноманітними способами, в залежності від характеристик вимірювального середовища та вибору електроду для вимірювання рівня. Однак, основний принцип завжди залишається в силі. Якщо середовище із низькою діелектричною постійною витісняється середовищем із високою діелектричною постійною, то сумарна ємність системи збільшується [5].

Змінення діелектричних характеристик середовищ, а також осадження продуктів на зонді, приводять до помилок вимірювань ємнісного рівнеміра. Існують різноманітні варіанти компенсації впливу відкладення продукту на ємнісних зондах. В неметалічних резервуарах, що не мають вертикальних стінок, необхідне застосування додаткового опорного електроду. Калібрування ємнісного рівнеміра може викликати складнощі, особливо у випадку неможливості "калібрування на стінці", а зміна характеристики парогозового простору може вплинути на вихідний сигнал. Крім того, робота ємнісних рівнемірів сильно утруднена в умовах сильного піно утворення [6].

#### Переваги поплавкового рівнеміра:

- простий в установці;
- низькі експлуатаційні затрати.

### Недоліки поплавкового рівнеміра:

- громіздкі конструктивні параметри;
- прямий контакт із рідиною, що в деяких сферах застосування неприпустимо.

### Сфери застосувань поплавкових рівнемірів:

Сфери застосувань поплавкових рівнемірів вкрай широка, з їх допомогою можна виміряти будь-які рідини, від рівня питної води в баку до контролю кількості хімікатів. Поплавковий рівнемір незамінний в колекторах і відстійниках, водосховищах, річках і каналах.

## **1.4. Буйковий метод вимірювання рівня рідини**

Індикатор рівня працює за принципом виштовхування. Відповідно до цього принципу довжина тіла, що занурено в рідину, відповідає діапазону вимірювання рівня. Підвішений на вимірювальній пружині стержень-виштовхувач занурений в рідині, і на нього у відповідність із законом Архімеда впливає виштовхуюча сила, що пропорційна масі витісненої тілу рідини. Вимірюванні витісняючої сили точно відповідає зміні розміру довжини пружин. Зміна довжини пружин перетворюється за допомогою магнітної системи в вимірювання рівня і передається на індикатор.

Буйковий рівнемір встановлюється на даху резервуара або частіше, в виносній камері, сполученої з резервуаром через відбори з відсічними вентилями. Конструктивно рівнемір складається з буйка, встановленого на підвісі, з'єднаного з торсійним валом або підвішеного на підпружинений підвіс, який з'єднується з електронним перетворювачем рівнеміра або сигналізатора. Буйок виконаний таким чином, щоб бути важче рідини, в якій він буде працювати, таким чином, навіть при повному зануренні буйка в рідину, на підвіс впливає сила тяжіння [5].

При підвищенні рівня рідини в резервуарі, буйок глибше занурюється в середовище. На буйок впливає виштовхуюча сила, пропорційна вазі рідини, витісненої буйком (закон Архімеда). Зменшення ваги буйка сприймається

електронним перетворювачем рівнеміра, і, оскільки вага буйка пропорційний рівню рідини, блок електроніки рівнеміра може розрахувати рівень рідини [5].

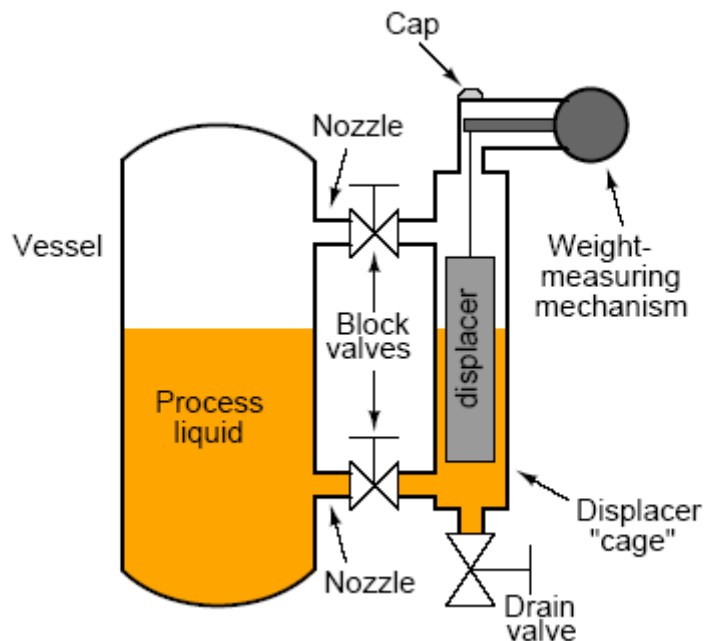


Рис. 1.4. Буйковий рівнемір [23]

Cap – "шапка", Nozzle – форсунка; Vessel – резервуар; Process liquid – рідина, рівень якої вимірюється; Weight-measuring mechanism – механізм вимірювання ваги; Block valves – блокові клапани; Displacer "cage" – витіснювач "клітка"

Похибка вимірювання рівня залежить від правильності калібрування приладу для робочих умов експлуатації. Якщо робочі параметри зміняться, то вимірювання рівня буде проводитися з підвищеною похибкою [2].

Буйкові рівнеміри з торсійним підвісом особливо вимогливі до періодичного технічного обслуговування і до коректного калібрування. Крім того подібні рівнеміри можуть бути пошкоджені в умовах різких перепадів рівня. Застосування буйкових рівнемірів на діапазонах вимірювань більше 5 м вважається недоцільним, в основному через складність монтажу [2].

#### Переваги буйкового рівнеміра:

- підходять для роботи з різноманітними видами рідин з різними фізичними властивостями;
- електропровідність, температура, щільність – відрізняються підвищеною чутливістю і швидким спрацюванням;

- можуть працювати з небезпечними і агресивними речовинами.

#### Недоліки буйкового рівнеміра

- громіздкі конструктивні параметри;
- прямий контакт із рідиною;
- низька точність вимірювань.

#### Сфери застосувань буйкових рівнемірів:

- оцінка щільності, контроль кордонів розділу фаз;
- збір даних в вимірювальній системі;
- нафтогазовий комплекс (нафтопереробка, транспортування, зберігання);
- харчова промисловість;
- зріджені гази, нафта, паливо, рідкі продукти, реагенти.

### **1.5. Гідростатичний метод вимірювання рівня рідини**

Основним принципом дії даних рівнемірів є зміна гідростатичного тиску, означеного рідиною. Існує три основні типи гідростатичних рівнемерів – занурені, врізні та фланцеві, що відокремлюються за типом приєднання до процесу. Також, так як цей фактор обумовлює особливі вимоги до матеріалів, з яких виготовлений пристрій, має сенс виділяти гідростатичні рівнеміри за типом вимірювальних середовищ: неагресивна до нержавіючої сталі, агресивна до нержавіючої сталі, густа і абразивне середовище. При виборі методу вимірювання рівня, слід зазначити, що коректні вимірювання гідростатичними датчиками можливі лише в середовищах з постійною густиною, так як гідростатичний тиск залежить від густини рідини та величини рівня. При необхідності рішення завдання вимірювання рівнів у середовищах із змінною густиною, можливе встановлення двох датчиків рівня. Один прилад встановлюється в ємність для відбору проби. В ємності забезпечується постійний рівень і рівнемір вимірює густину, а дані із другого (власне рівнемір)



перераховуються в контролері з врахуванням поточного тиску середовища, з якого вже скорегований сигнал подається у верхній рівень [2].

Переваги гідростатичних рівнемірів:

- простота монтажу і обслуговування, висока надійність;
- гідростатичні рівнеміри відмінно працюють з в'язкими рідинами і при великому надлишковому тиску.
- точність;
- реалізація методу не передбачає використання рухливих механізмів.

Недоліки гідростатичних рівнемірів:

- рух рідини викликає зміну тиску та приводить до помилок вимірювань;
- атмосферний тиск має бути компенсовано;
- зміна густини рідини може бути причиною помилок вимірювань;
- чутливий елемент знаходиться в безпосередньому контакті із середовищем, що потребує для датчиків спеціальних матеріалів, значно звужуючи сфери їх застосувань.

Сфери застосувань гідростатичних рівнемірів:

Гідростатичні датчики використовуються в різних сферах промисловості, пов'язаних з водою або з газом, в тому числі в: нафтогазової, хімічної, фармацевтичної промисловості, де дозволяють проводити контрольні-вимірювальні роботи з газами, нафтою, паливом, спиртами і кислотами, проводити кількісну оцінку рідин.

Також це обладнання широко використовується в металургії та добувній промисловості для оцінки рівня ґрунтових вод або рідин в свердловинах і водоймах. Крім того, вони необхідні і в екологічному контролі, в тому числі для проміру обсягу резервуарів з технічною та питною водою на заводах і в населених пунктах, для контролю стану природних водойм.

## Висновки до розділу

На даний момент існує ряд варіантів виконання систем для вимірювання рівня рідини: ультразвукові, радарні, поплавкові, ємнісні та гідростатичні. Основні сфери застосування в залежності від типа системи:

- виробництво рідких харчових продуктів, напоїв, мінеральної води, пива та алкоголю;
- хімічна промисловість, включаючи виробництво побутової хімії, лакофарбових матеріалів;
- нафтогазові комплекси;
- агропромисловість, контроль палива транспортного засобу.

В якості розроблювальної системи було обрано рівнемір на основі радару.

Радарні системи у порівнянні з подібними системами мають високу надійність. Наприклад, у порівнянні із ультразвуковими рівнемірами, радарний метод має готовність роботи в агресивному середовищі при умовах підвищених або понижених параметрів температури, тиску, густини тощо. У порівнянні з ємнісним методом вимірювання, радарний має менші конструктивні параметри. З іншого боку найбільшим недоліком, на даний момент, є висока вартість такого рівнеміра.

Загалом рівнеміри на основі радару мають велику перспективність застосування в різних сферах.

## 2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ

### 2.1. Розробка структурної схеми електронної системи безконтактного вимірювання рівня рідини

В ході розгляду в попередньому розділі існуючих електронних систем вимірювання рівня рідини було обрано для розробки систему на основі радарного рішення.

На структурній схемі (рис. 2.1.) графічно представлені всі основні блоки.

Відповідно до технічного завдання в якості вхідного живлення системи використовується постійна напруга від 5В до 36В. Для покращення та надійності вимірювача використаємо резервне живлення у вигляді Li-Ion акумулятора, заряд якого, відповідно, контролюється за допомогою контролера заряду.

Через понижуючий перетворювач напруги підключаються всі основні блоки електронної системи: датчик (радар), мікроконтролер та бездротовий модуль прийому-передачі даних.

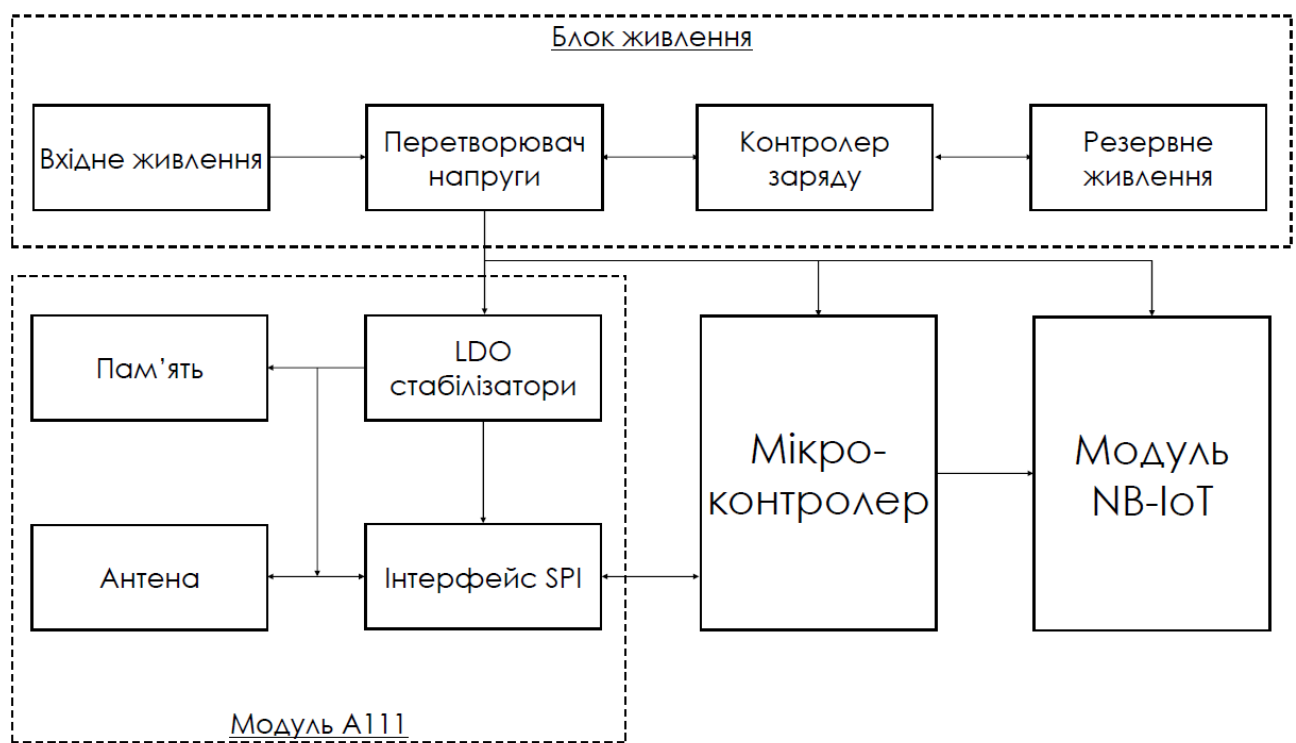


Рис. 2.1. Структурна схема електронної системи безконтактного вимірювання рівня рідини

В якості датчика використовується радар. Принцип дії заснований на методі виміру часу розповсюдження радіохвилі від антени рівнеміра до поверхні продукту, рівень якого вимірюється (в даному випадку – рідини), та навпаки (рис. 2.2.).

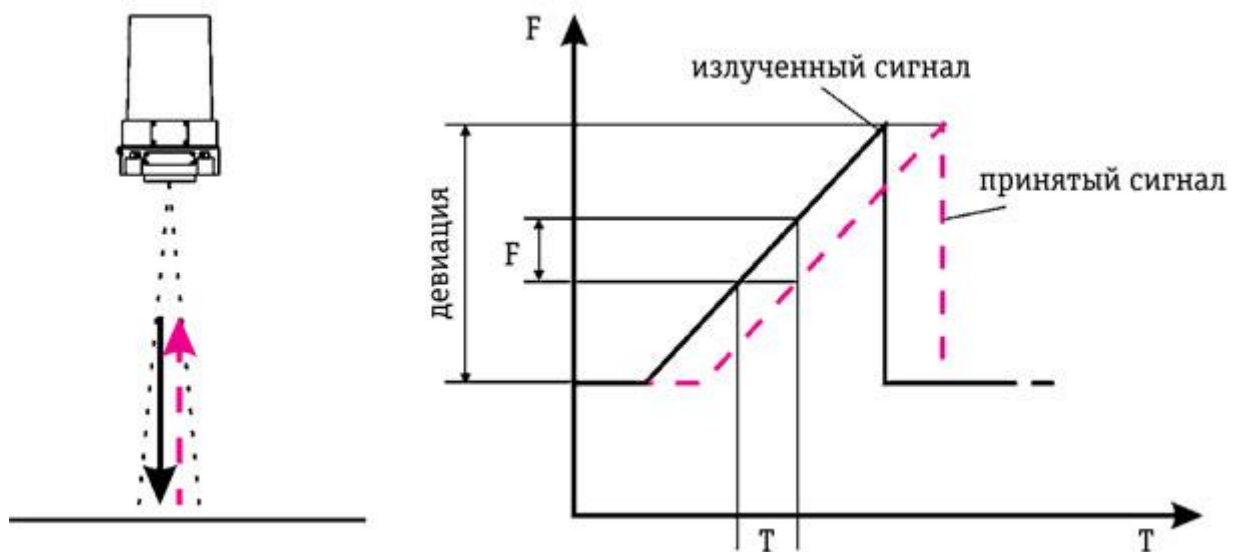


Рис. 2.2. Принцип дії радарного рівнеміра

«Для високоточних вимірювань використовується безперервне модульоване по частоті радіовипромінювання (FMCW). Принцип дії якого полягає в наступному. Генератор датчика рівня формує радіосигнал, частота якого змінюється в часі за лінійним законом – лінійний частотно-модульований сигнал. Цей сигнал випромінюється в напрямку продукту, відбивається від нього, і частина сигналу через певний час, що залежить від швидкості світла і відстані, повертається назад в антену. Випромінюваний та відбитий сигнали змішуються в датчику рівня, і в результаті утворюється сигнал, частота якого дорівнює різниці частот прийнятого і випромінюваних сигналів  $F$  і відповідно відстані від антени до вимірюваного продукту. Подальша обробка сигналу здійснюється мікропроцесорною системою датчика рівня і полягає в точному визначенні частоти результуючого сигналу і перерахунку її значення в значення рівня наповнення резервуара» [4].

Як було показано вище, на точність вимірювання впливає відношення сигнал/шум на вході рівнеміра. На це відношення впливають потужність випромінювання і чутливість (коефіцієнт шуму) приймача. Очевидно, що підвищувати потужність випромінювання безмежно не можна з міркувань техніки безпеки, вибухобезпеки та надійності. Як правило, випромінююча потужність радарних рівнемірів не перевищує десятих часток мВт. Чутливість приймача (коефіцієнт шуму) визначається, як правило, шумовими параметрами вхідних елементів і лежить в межах  $8 \div 12$  дБ.

Наступним найважливішим параметром приймально-передавального блоку є девіація частоти випромінювання або, іншими словами, діапазон зміни частоти випромінювання в процесі вимірювання. З теорії вимірювання відстані FMCW методом відомо, що чим вище девіація частоти, тим вище роздільна здатність і точність вимірювання відстані (в нашому випадку рівня). Однак прагнення збільшити девіацію частоти нашої зустрічається на технічну складність забезпечення широкополосності приймально-передавального блоку. Причому ця складність тим більше, чим більше відношення девіації до несучої частоти. Наприклад, якщо для забезпечення необхідної точності вимірювання потрібна девіація 2 ГГц, то забезпечити її при частоті 10 ГГц, де ставлення девіації до несучої частоти становить 0,2, значно складніше, ніж при частоті 100 ГГц, де цей показник становить 0,02. Це підтверджується тим, що в рівнемірах ПОМ-11, що працюють на частоті понад 90 ГГц, досягнута девіація частоти 4 ГГц, в той час як в приладах, що працюють на частотах 6-24 ГГц, вона, як правило, не перевищує 1 ГГц. Для досягнення високої точності вимірювання необхідно також забезпечити дуже високу лінійність зміни частоти випромінювання в процесі вимірювання. Ще 10 років тому це складало серйозну проблему і вимагало складних і дорогих технічних засобів (наприклад, високоточного термостатування НВЧ-блоку.) В останні роки в зв'язку з появою високоточних синтезаторів частоти, керованих процесором, рішення цієї проблеми не представляє великої складності.

Завданням антени є формування радіопромменя. Радіопромінь, якщо він поширюється у відкритому, що не обмежує його просторі, являє собою конус, вершина якого збігається з основою антени. Ширина цього конуса (кут розкриття) обернено пропорційна апертурі (діаметру) антени і обернено пропорційна частоті випромінювання (це, як правило, є фундаментальним і не залежить від типу антени). Іншими словами, необхідну ширину променя, що гарантує вільне, що не зачіпає стінки резервуара поширення радіопромменя, можна забезпечити або збільшенням частоти випромінювання, або збільшенням габаритів антени. А при одній і тій же ширині променя габарити антени більш високочастотного радарного рівнеміра будуть у стільки разів менше, у скільки разів його частота вище, ніж у радарного рівнеміра з меншою частотою випромінювання [4].

В якості передавального компонента системи обрано приймально-передавальний бездротовий модуль NB-IoT, який, відповідно до ТЗ, має забезпечити низьке енергоспоживання та високу ефективність передачі даних.

У найближчі роки безліч найрізноманітніших датчиків в додатках IoT повинні будуть виходити в ефір лише періодично і тільки для того, щоб відправити накопичену інформацію про витрати води, газу, електрики, температуру повітря, вологість ґрунту, вміст шкідливих домішок і т. д. Такі інтелектуальні датчики повинні володіти специфічними властивостями, з яких, перш за все, необхідно відзначити мінімальне енергоспоживання і вартість. Ці пристрої з автономним батарейним живленням повинні забезпечувати роботу без заміни батареї протягом кількох років. В англomовній літературі даний тип пристроїв, що забезпечує мале енергоспоживання і широке територіальне охоплення, отримав назву LPWA – low power wide area. Технології ліцензованих діапазонів IoT, призначені для пристроїв LPWA eC-GSM-IoT, eMTC і NB-IoT, в базовому варіанті стандартизовані в документі 3GPP Release 13[14].

В даний час найбільш інтенсивно розвиваються екосистеми NB-IoT. Багато в чому це пов'язано з тим, що мережі NB-IoT і eMTC можуть бути

реалізовані всередині існуючих стандартних мереж LTE-M, призначених для високошвидкісної передачі голосу, відео і великих обсягів даних. Крім того, в останній час з'явилося багато нових моделей чіпів з підтримкою обох технологій.

Популярність мереж NB-IoT постійно зростає в усьому світі. Технологія Narrow-Band IoT (NB-IoT) регламентована поряд із зазначеними вище технологіями в стандарті 3GPP Rel. 13. Інша назва, що зустрічається в англійській літературі, - LTE Cat NB1. Ця технологія, як випливає з назви, базується на так званому методі вузькосмугового радіозв'язку (narrowband), який використовується для передачі невеликих пакетів даних з малими швидкостями.

## **2.2. Вибір та обґрунтування компонентів електричної схеми системи**

Відповідно до технічного завдання на вхід системи поступає постійна напруга від 5 до 36В. Для коректної роботи та забезпечення живленням всіх елементів схеми використаємо модуль понижуючого перетворювача напруги на основі LM296.

Особливості LM296:

- діапазон вхідної напруги 4,2÷40В та вихідна напруга 1,25÷37В, що безперервно регулюється (Вхідна напруга повинна бути на 1 В вище вихідної напруги);
- максимальний вихідний (піковий) струм може досягати 3А, але нормальний і стабільний робочий струм становить 2А.

Наступне, на що слід звернути увагу при виборі компонентів – резервне живлення системи. Воно використовується при непередбачуваному зникненні основного живлення в ситуаціях, коли контроль рівня рідини є критичним. В розроблювальній системі використовується резервне живлення у вигляді Li-Ion акумулятора з наступними характеристиками: номінальна напруга 3,7В, ємність 2600 мАг, типорозмір 18650.

Серед переваг акумуляторів Li-Ion можна відмітити:

- висока енергетична ємність;
- низький саморозряд;
- можливість віддачі високого струму;
- не потребує додаткового обслуговування.

На рис. 2.3 показаний акумулятор, що використовується в даній системі.

Згідно з технічною специфікацією елемента живлення його характеристики відповідають ТЗ проекту.



Рис. 2.3. Акумулятор PkCell ICR18650, 2600mAh

Для встановлення на друковану плату використовуються тримачі типу "пелюстки" Antenk ATK163, що показані на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Тримач на плату для акумулятора



Додатково в схемі використовується контролер заряду і живлення у вигляді модуля на основі мікросхеми TP4056. Плата містить контролер заряду Li-Ion акумуляторів TP4056 із захистом від перезаряду. Мікросхема має індикацію процесу заряду і сама відключає акумулятор при досягненні напруги на ньому 4,2В. У момент заряду світиться червоний світлодіод, коли батарея буде повністю заряджена засвітиться синій світлодіод, червоний при цьому згасне [11].

Процес зарядки акумулятора ідентичний зарядці мобільного телефону, яскраві світлодіоди сповіщають про закінчення зарядки акумулятора.

Модуль підходить для зарядки літій-іонних і літій-полімерних (Li-Ion, Li-Po) акумуляторів на 3,7В. Будь то акумулятори від мобільного телефону або батареї типорозмір 18650 які застосовуються в батареях для ноутбуків [11].



Рис. 2.5. Плата на основі мікросхеми контролера заряду TP4056

В якості сенсора в проекті досліджується датчик-радар Assoneer A111.

Усередині радара A111 встановлені передаюча та приймаюча антени, які видають високочастотні хвилі частотою 60 ГГц. Відбиті від поверхонь хвилі детектуються приймаючою антеною. Датчики Assoneer засновані на технології імпульсних когерентних радарів, яка має відразу кілька переваг. По-перше, вона дозволяє визначати об'єкти з досить високою роздільною здатністю, по-друге, споживання в енергозберігаючому режимі складає всього 0,1 мВт. Розробкою

цієї технології більше 10 років займався університет міста Лунд (Швеція), звідки родом і сам Ассонеер. Безумовно, ідея дистанційного положення об'єктів не нова, але до сьогоднішнього дня радары були або дуже вузьконаправленими або незручними через велике енергоспоживання. Наприклад, радар, заснований на ефекті Доплера, не здатний вимірювати відстань до статичних об'єктів. Звичайні імпульсні радары не володіють достатньою точністю для отримання дозволу високої якості і достатньої глибини. Радары, що використовують технологію частотної модуляції зобов'язані для своєї роботи підтримувати дуже високу частоту хвиль, що призводить до критично зростаючого споживання. Таким чином, радары по імпульсно-когерентної технології увібрали в себе все найкраще від своїх попередників [7].

Функціональна схема радара A111 показана на рис. 2.6.

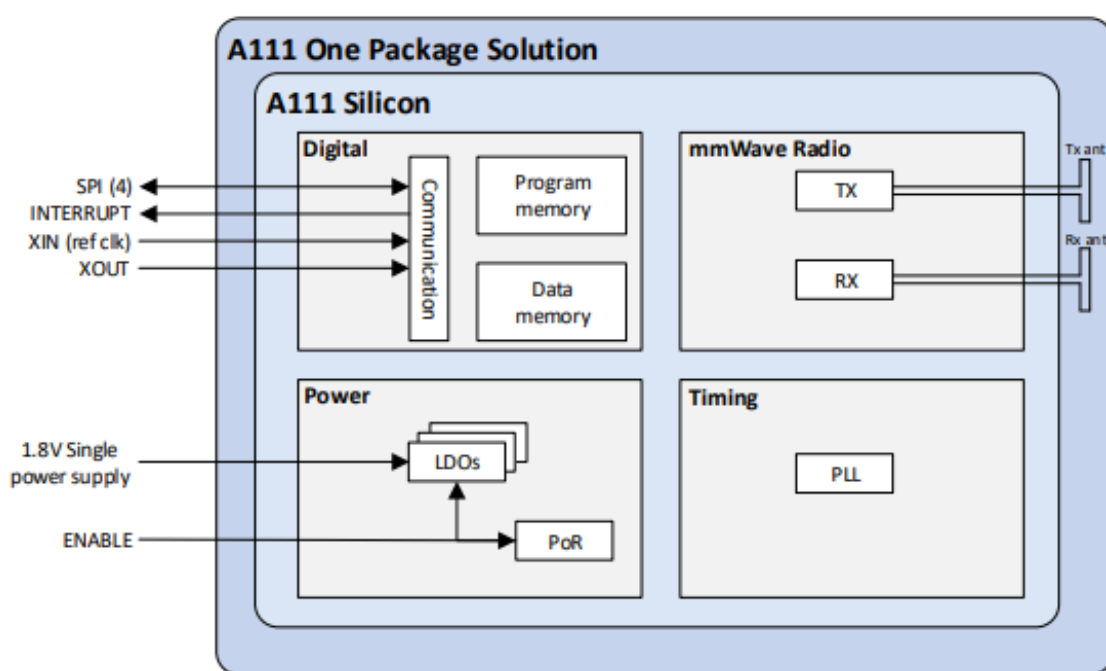


Рис. 2.6. Функціональна схема датчика A111 [7]

Digital – цифровий блок: Communication – інтерфейс; Program memory – програмна пам'ять; Data memory – пам'ять даних.

Power – живлення: LDOs (Low dropout regulators) – регулятори низького виходу; PoR (power on reset) – живлення на скидання.

mmWave Radio – міліметрова радіохвиля: TX/RX ant (transceive and receive) – передавальна та приймача антена.

Timing: PLL (phase-locked loop) – фаза-петля.

Всередині датчика Assoneer вже вбудовані антени, що значно спрощує розробку. Також ця модель радару не має вбудованого нав'язаного контролера і прекрасно працює з сімействами Cortex M4, Cortex M7 та Raspberry PI. Однак, наявність антен не заважає датчику зберігати розміри  $5,5 \times 5,2 \times 0,88$  мм, що для деяких застосувань може бути критичним.

Окрім виявлення відстані до об'єкту датчик на основі імпульсно-когерентного радару має змогу виявити матеріал об'єктів. Справа в тому, що сигнал, що приймається RX антеною має 2 параметри: відстань до об'єкту і "силу відбиття", по якій можна судити про матеріал з якого складається об'єкт. Наприклад, сигнал від металу відбивається з іншою амплітудою, ніж від людини. Таким чином, можна класифікувати об'єкти та розділити їх на категорії.

Говорячи про виробництво кінцевого приладу необхідно звернути увагу на високу працездатність технології імпульсно-когерентного радару та його здатність працювати при будь-яких погодних умовах, нехай то дощ, сніг або пил.

Згідно зі специфікацією датчика A111 для його коректної роботи в системі має використовуватися мікроконтролер з флеш пам'яттю від 252 кб. Наприклад, підійде STM32L476RGT6 (рис. 2.7). Цей контролер має ядро Cortex M4 із тактовою частотою 80 МГц та розмір програмної пам'яті 1Мб, що відповідає технічним вимогам A111.

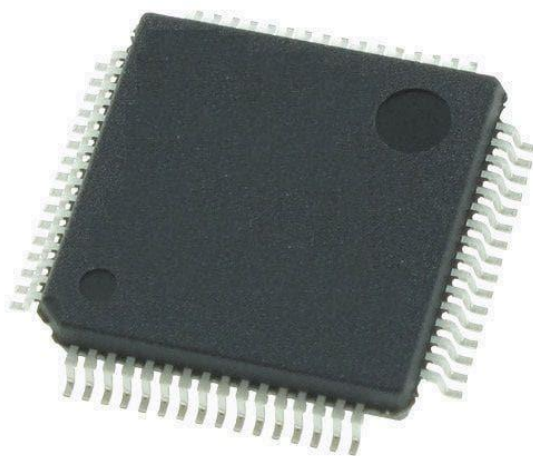


Рис. 2.7. Мікроконтролер STM32L476RGT6

Як було зазначено раніше в якості блоку передачі даних обрано NB-IoT модуль. Так як завданням дисертації є розробка системи з високою швидкістю та низьким енергоспоживанням в схему включений модуль Neoway N20, який має як із основних переваг:

- наднизьке споживання енергії в режимі сна (1 мА);
- підтримка Multi-mode: NB-IoT + eMTC + EGPRS;
- Deep coverage: eMTC +15dB,  
NB-IoT +20dB;
- підтримка GPS/GLONASS/Galileo/BDS/QZSS



Рис. 2.8. NB-IoT модуль Neoway N20

Не дивлячись на те, що підбір комплектуючих відповідає досить високим економічним затратам (основні компоненти схеми ~25 USD) дана система відрізняється високою надійністю, точністю, швидкістю та низьким енергоспоживанням, що в більшості промислових задач є важливими технічними параметрами.

### **2.3. Розробка схеми електричної принципової електронної системи безконтактного вимірювання рівня рідини**

На кресленні МРП.171.081.016 ЕЗ показана схема електрична принципова електронної системи безконтактного вимірювання рівня рідини.

Принципова схема розроблялась в програмному середовищі студентської версії Schemadgee. На рис. 2.9. показаний скріншот процесу розробки схеми з використанням програми.

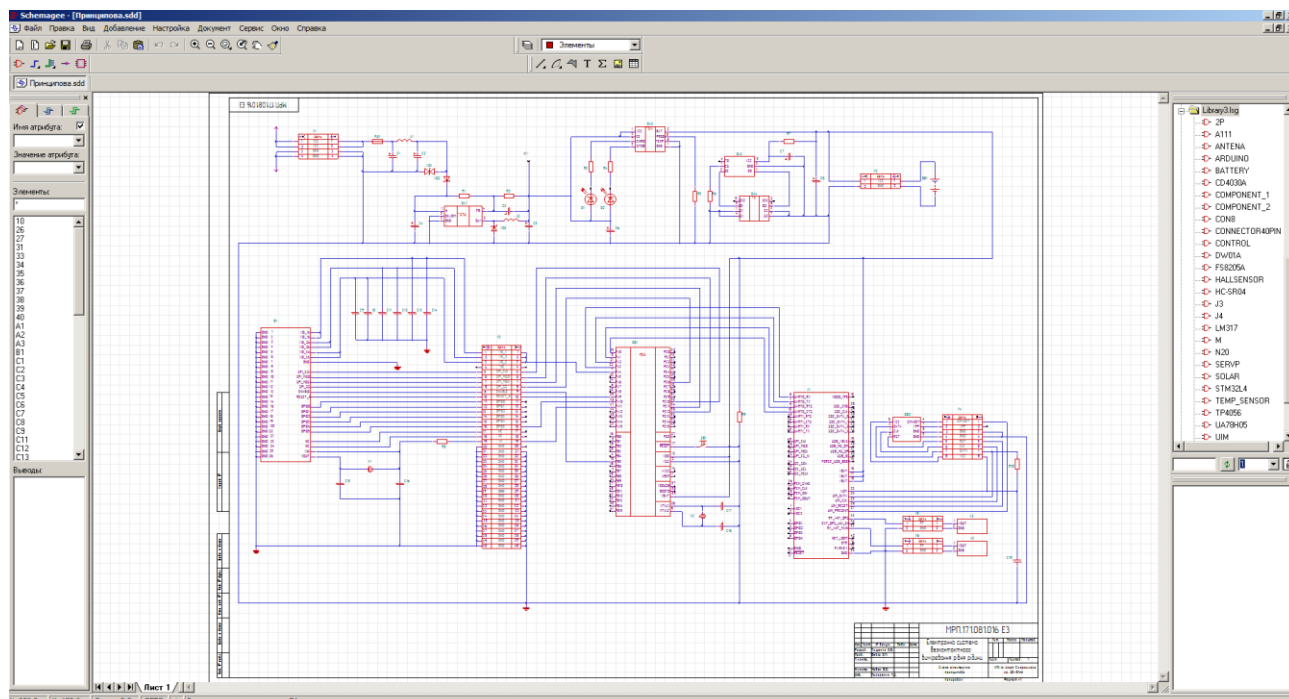


Рис. 2.9. Процес розробки схеми електричної принципової в програмному забезпеченні Schemadeg

На рис. 2.10 показана схема електрична принципова підключення модуля понижуючого перетворювача напруги до вхідного живлення через фільтр. На вході мікросхеми *DA1* подається постійна напруга від 5 до 36В, на виході маємо 5В з максимальним струмом до 3А згідно технічних характеристик.

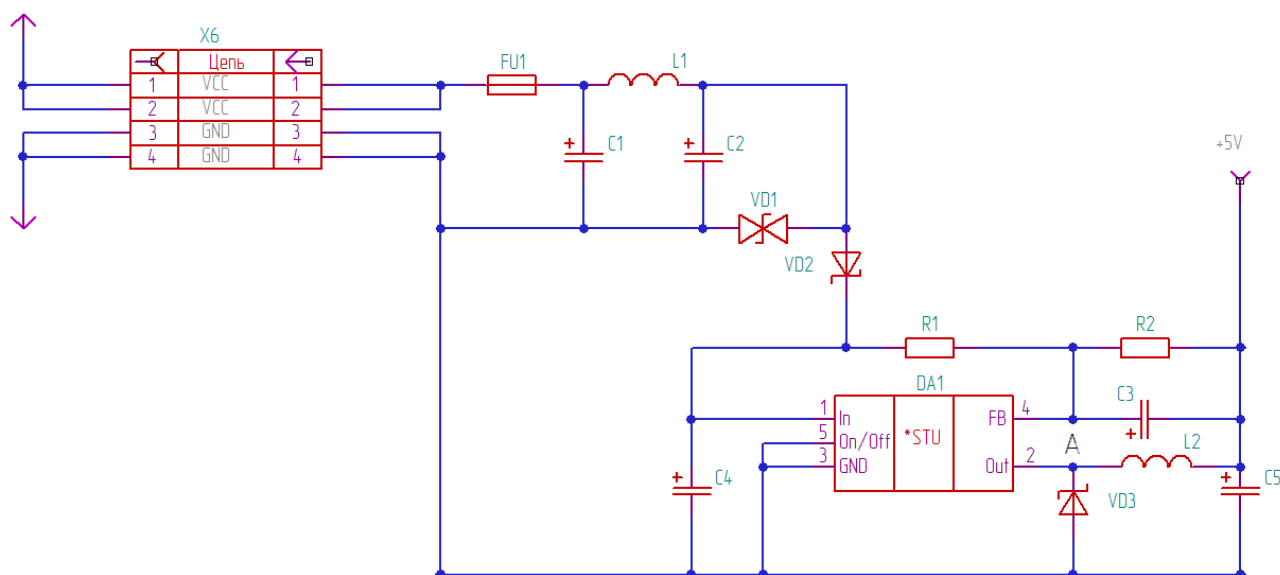


Рис. 2.10. Схема електрична принципова модуля понижуючого перетворювача

Всі можливі перевантаження напруги блок живлення усуває і забезпечує на виході стабілізовану напругу. На вході блоку стоять захисні діоди VD1 і VD2, а також фільтр з дроселя L1 і конденсаторів C1 та C2, який значно послаблює перешкоди.

Принцип роботи понижуючого перетворювача напруги полягає в наступному. Індуктивність L2 противиться зміні струму через неї. При появі напруги в точці А дросель створює велику негативну напругу самоіндукції, і напруга на навантаженні стає рівною різниці напруги живлення і напруги самоіндукції. Струм індуктивності і напруга на навантаженні поступово зростають. Після зникнення напруги в точці А дросель прагне зберегти минуле значення струму, поточний із навантаження і конденсатора, і замикає його через діод на землю – він поступово падає. Таким чином, напруга на навантаженні завжди менше вхідної напруги і залежить від шпаруватості імпульсів [8].

табл. 2.1.

Характеристики мікросхеми LM2596 [10]:

Вхідна напруга	від 2.4 до 40В
Вихідна напруга	фіксована або регульована (від 1.2 до 37 В)
Вихідний струм	до 3А (при хорошому охолодженні – до 4.5А)
Частота перетворення	150 кГц;
ККД	70-75% на низьких напругах, до 95% на високих напругах

Дані характеристики понижуючого перетворювача напруги на мікросхемі LM2596 повністю задовольняють вимогам живлення всіх компонентів схеми.

Наступним кроком побудови блоку живлення схеми являє собою модуль контролю заряду на основі TP4056. Схема підключення показана на рис. 2.9.

Процес зарядки включає в себе декілька етапів:

1) контроль напруги підключеного акумулятора (постійно).

- 2) зарядка струмом  $1/10$  від запрограмованого резистором  $R_{prog}$  (100 мА при  $R_{prog} = 1,2 \text{ кОм}$ ) до рівня 2,9В.
  - 3) зарядка максимальним струмом (1000 мА при  $R_{prog} = 1,2 \text{ кОм}$ ).
  - 4) при досягненні на батареї 4,2В йде стабілізація напруги на рівні 4,2В. Струм падає по мірі зарядки.
  - 5) при досягненні струму  $1/10$  від запрограмованого резистором  $R_{prog}$  (100 мА при  $R_{prog} = 1,2 \text{ кОм}$ ) зарядний пристрій відключається.
- Перехід до п.1.

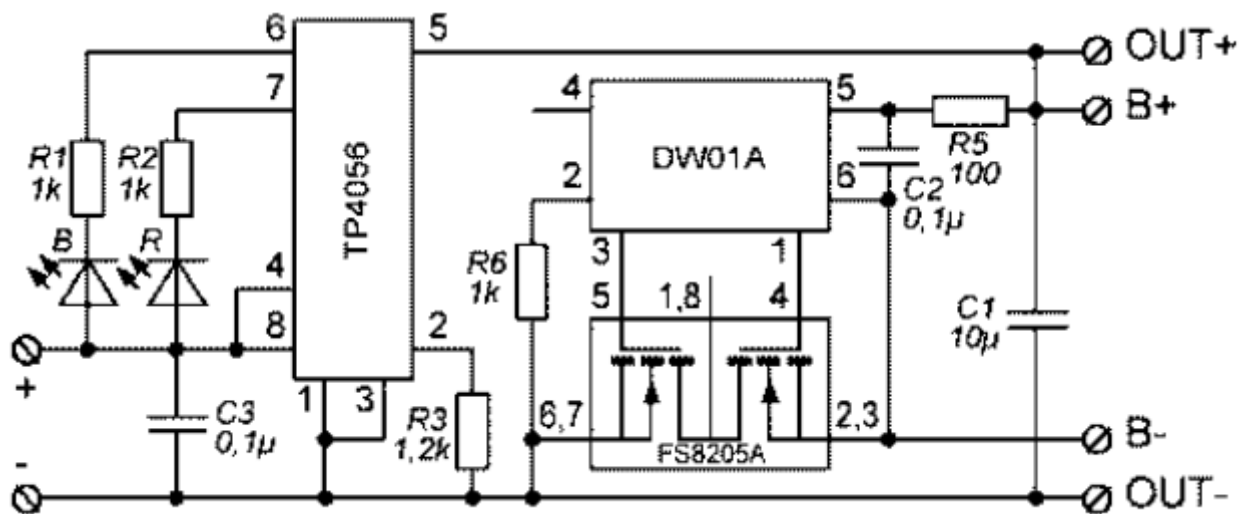


Рис. 2.11. Схема електрична принципова модуля контролю заряду

Особливості модуля [12]:

- напруга живлення +4,5...+8,0В;
- струм заряду 1,0А, легко програмується зміною значення резистора  $R_{prog}$  (від 1,2кОм до 10кОм);
- джерело живлення має забезпечувати струм заряду з деяким запасом;
- напруга закінчення заряду акумулятора: 4,2В;
- світлодіод індикації заряду;
- вбудований захист закінчення зарядки: 4,2В;
- вбудований захист від короткого замикання по входу (на 3А);
- вбудований захист від глибокого розряду акумулятора (+2,4В).

Необхідно звернути увагу, що хоч захист від переполюсовки наявний, все одно надовго захистити схему від короткого замкнення не вийде, так як TP4056 вийде швидко з ладу через перегрів.

Як було сказано із попереднього розділу в якості датчика використовується імпульсно-когерентний радар Assconeer A111, схема підключення якого, згідно із рекомендаціями технічної специфікації датчика, показана на рис. 2.12.

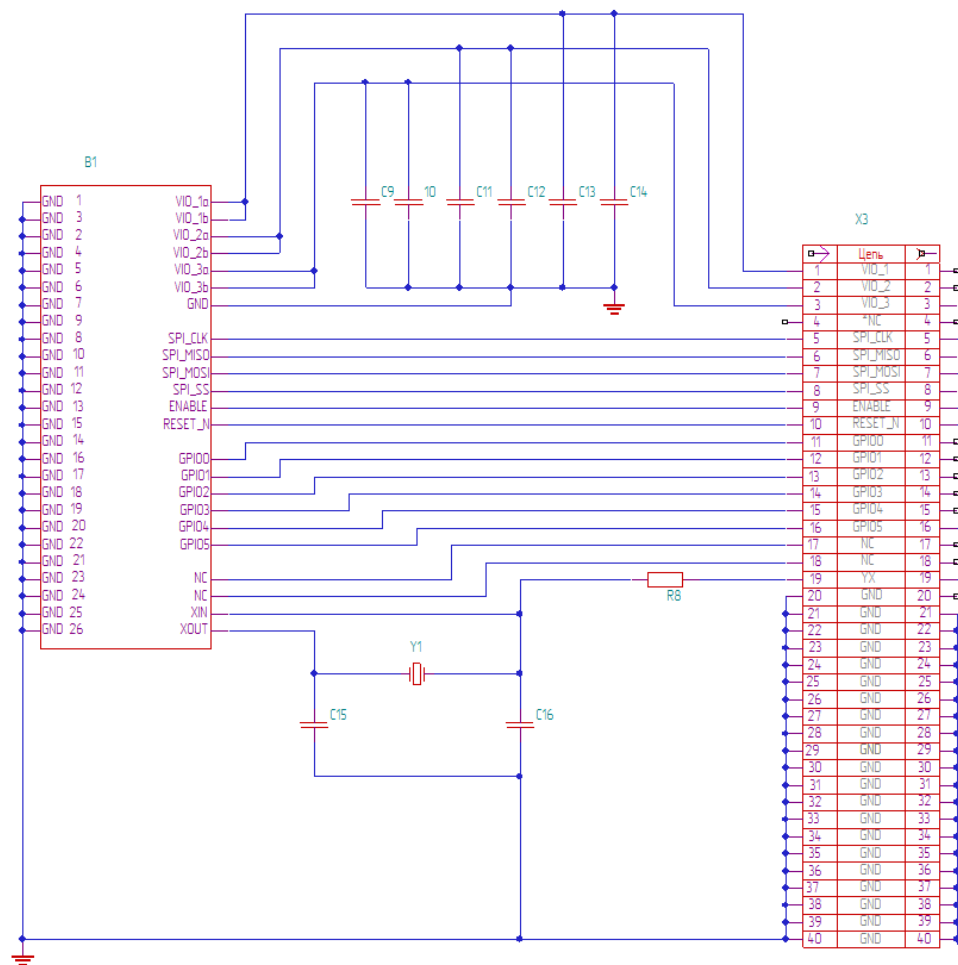


Рис. 2.12. Схема електрична принципова підключення датчика A111

Для взаємодії з мікроконтролером використовується послідовний периферійний інтерфейс SPI, який являє собою 4-провідну шину даних, що використовується для конфігурації та налаштування виводів датчика. A111 є SPI slave пристроєм, підключений до SPI master (рис. 2.13). Додатково, A111



дозволяє підключати декілька пристроїв до однієї і той же SPI шини. Це дає можливість, при використанні датчика в якості сенсора рівнеміра, проводити незалежний контроль рівня декількох ємностей.

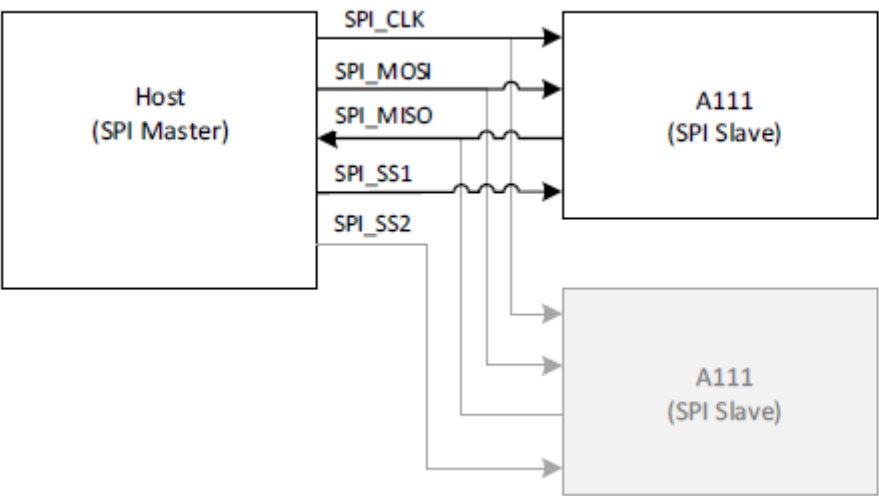


Рис. 2.13. Підключення SPI master-slave

Послідовні дані, що передаються на вхід (MOSI) та вихід (MISO) до A111 є синхронізовані за допомогою SPI\_CLK. Сигнал на Slave Select (SS) має бути менше ніж минулий або поточний рівень напруги. Сигнал MOSI завжди читається по передньому фронту SCLC, а MISO змінює значення по передньому фронту SPI\_CLK. Часова діаграма показана на рис. 2.14.

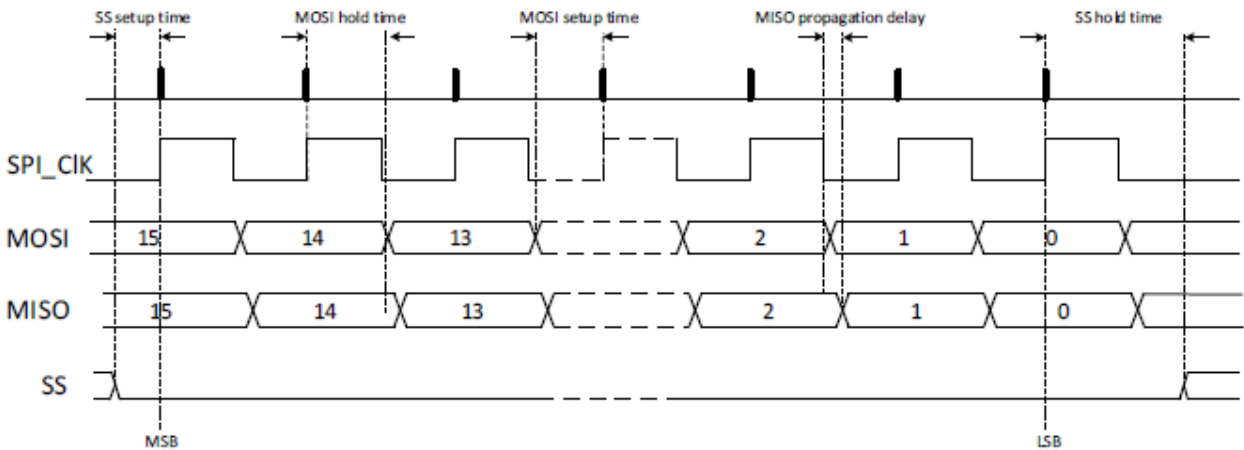
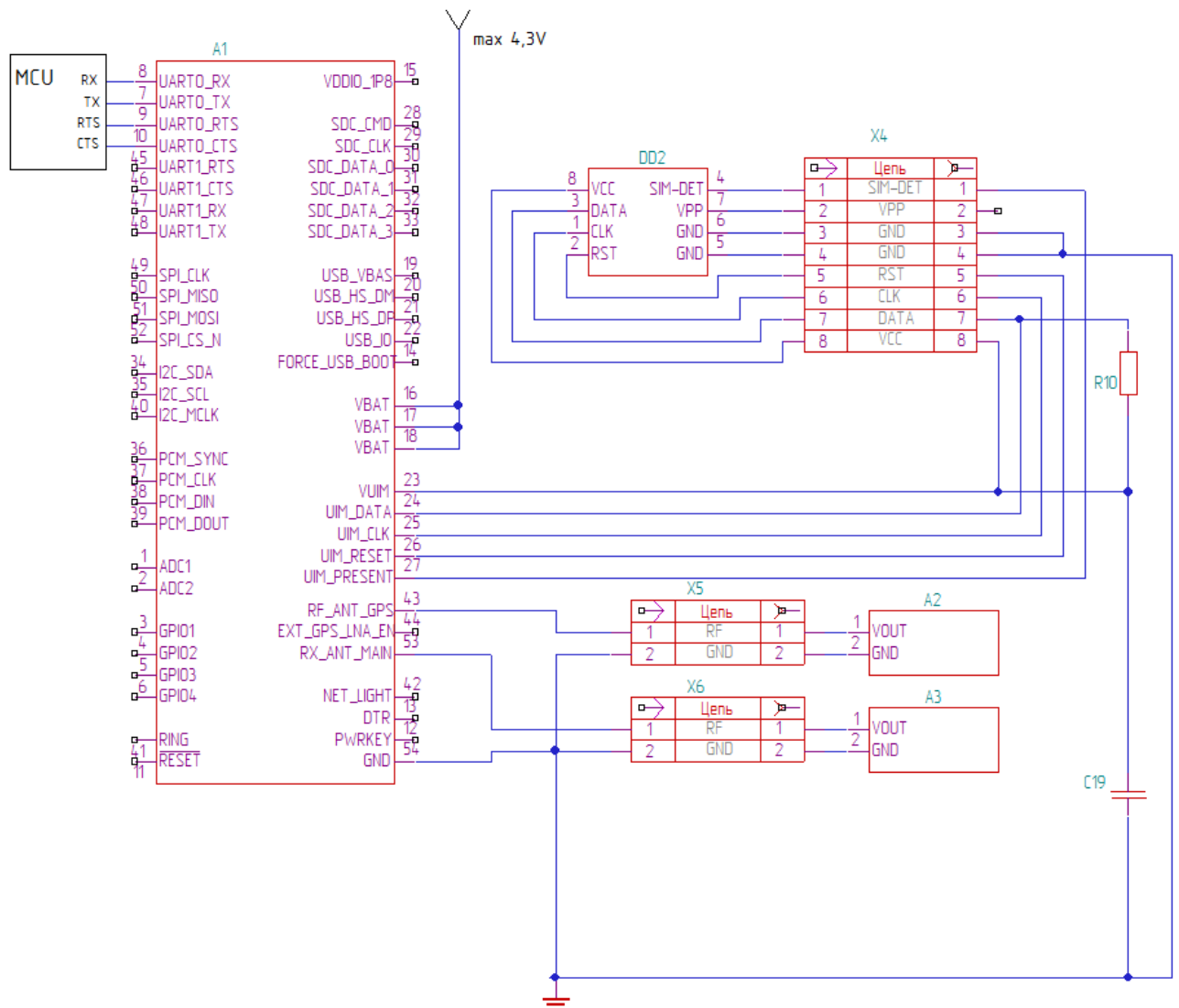


Рис. 2.14. Часова діаграма SPI інтерфейсу

«UART (англ. universal asynchronous receiver/transmitter — універсальний асинхронний приймач/передавач) — тип асинхронного приймача-передавача, компонентів та периферійних пристроїв, що передає дані між паралельною та послідовною формами» [9].



Для функціонування модуля потрібно використовувати UIM карту – ідентифікаційний модуль, який містить необхідні службові дані для роботи системи в мережі. По своїм функціям карта аналогічна функціям звичайній SIM.

### 2.3.1. Розрахунок номіналів елементів модуля понижуючого перетворювача напруги

Напруга на виході мікросхеми LM2596 може бути розрахована за формулою [10]:

$$U_{out} = U_{REF} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right).$$

де  $U_{REF} = 1,23 \text{ В}$ , виходячи зі специфікації. Тоді маємо номінал резистора R2:

$$R2 = R1 \left( \frac{U_{out}}{U_{REF}} - 1 \right).$$

$$R2 = 1000 \left( \frac{5}{1,23} - 1 \right) = 3065 \text{ Ом} = 3,065 \text{ кОм}.$$

де  $R1 = 1 \text{ кОм}$ .

Маємо значення за таблицею E24  $R2 = 3 \text{ кОм}$ .

Виходячи із рекомендацій специфікації LM2596 використаємо наступні елементи:

C3 – 470 мкФ, 50 В;

C4 – 270 нФ, 35 В;

C5 – 220 нФ, 35 В;

VD3 – 5 А, 40 В (1N5825);

L2 – 68 мкГн.

### 2.3.2. Розрахунок струму заряду Li-Ion акумулятора

Виходячи із технічної специфікації контролера TP4056 максимальний струм заряду визначається за формулою:

$$I_{bat} = \frac{V_{prog}}{R_{prog}} \times 1200$$

Зі специфікації  $V_{prog} = 1 \text{ В}$ , тоді при  $R_{prog} = 1,2 \text{ кОм}$  маємо:

$$I_{bat} = \frac{1}{1200} \times 1200 = 1 \text{ (А)}$$

Процес заряду акумулятора відбувається в декілька етапів [12]:

- постійний контроль напруги акумулятора;
- заряд струмом 1/10 до рівня 2,9В (тобто в нашому випадку 100мА);
- заряд максимальним струмом (1 А);
- При досягненні напруги 4,2В заряд припиняється.

### 2.3.3. Розрахунок споживаної потужності електричної схеми

Розрахуємо мінімальну споживану потужність схеми (в режимі очікування):

- 1) Контролер заряду в режимі очікування споживає ~2 мкА. Напруга живлення 5В.  $P = 2 \times 10^{-6} \times 5 = 10^{-5}$  Вт.
- 2) Згідно із специфікацією мінімальний споживаний струм датчика A111 66мкА. Напруга живлення 1,8 В.  $P = 66 \times 10^{-6} \times 1,8 = 11,88 \times 10^{-5}$  Вт.
- 3) Мінімальний споживаний струм мікроконтролера STM32L476R6 140мкА. Напруга живлення 3,7В.  $P = 140 \times 10^{-6} \times 3,7 = 51,8 \times 10^{-5}$  Вт.
- 4) В режимі очікування модуль N20 споживає 1мА. Напруга живлення 3,7В.  $P = 1000 \times 10^{-6} \times 3,7 = 3,7 \times 10^{-3}$  Вт = 3,7 мВт.

Отже, при режимі очікування система споживає:

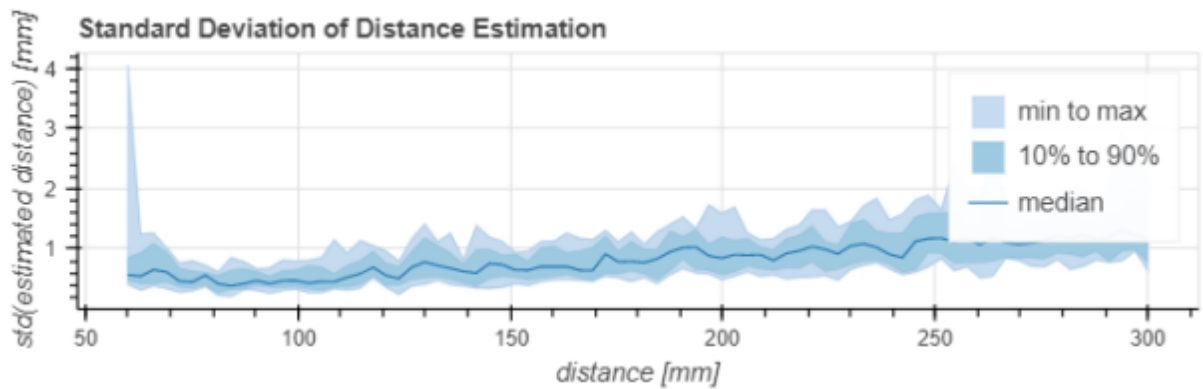
$$P \approx 0,01 \text{ мВт} + 0,12 \text{ мВт} + 0,52 \text{ мВт} + 3,7 \text{ мВт} = 4,35 \text{ (мВт)}$$

При передачі сигналу за допомогою NB-IoT модуля його споживаний струм (2А) буде набагато більше відносно інших модулів схеми:

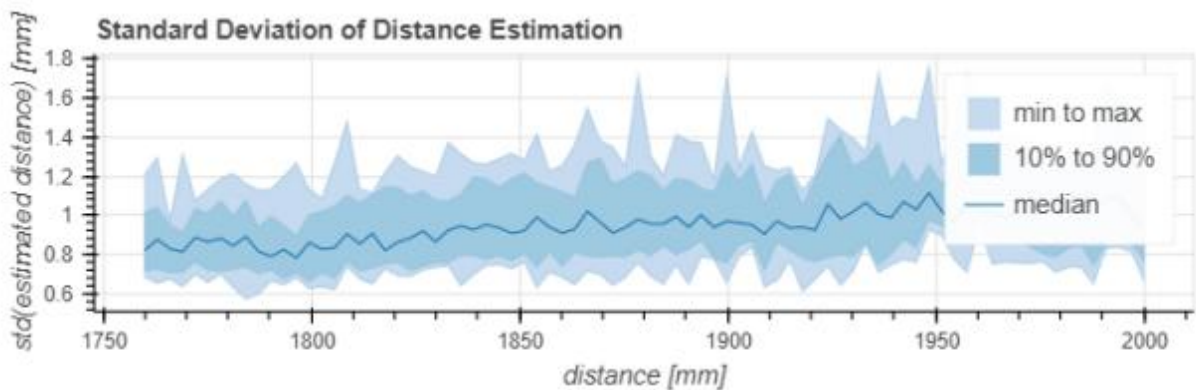
$$P_{\text{макс сх}} \approx P_{\text{NB IoT}} = 2\text{А} \times 3,7\text{В} = 7,2\text{Вт}.$$

### 2.4. Розрахунок точності вимірювання та аналіз діаграми направленості датчика A111

Говорячи про точність вимірювання у випадку A111 виходячи із технічної специфікації абсолютна похибка визначення перешкоди складає  $\pm 1$  мм, а відносна  $\pm 40$  мкм, про що свідчать графіки (рис. 2.16 (а, б) ) відхилення оцінки відстані для дистанції в 30 см і 2 м.[13]



а)



б)

Рис. 2.16. Оцінка помилки вимірювання дистанції для 30 см (а) і для 2м (б) [7]

Як відомо для циліндричної форми резервуару об'єм розраховується за формулою:

$$V = \pi R^2 h$$

де  $R$  – радіус основи;  $h$  – висота;

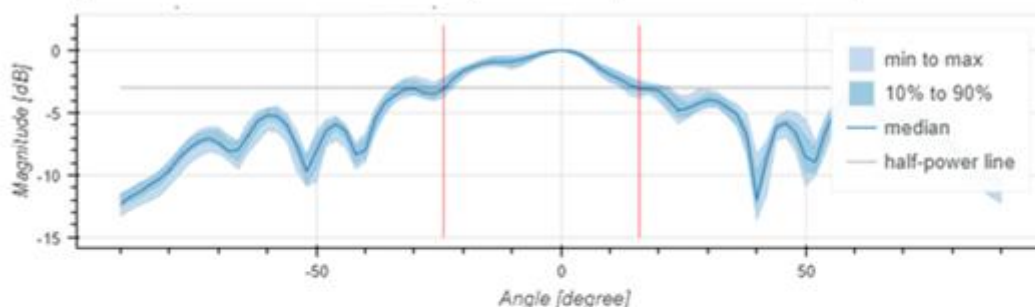
Наприклад для резервуару з діаметром 20 см будемо мати абсолютну похибку:

$$V = \pi \times 0,1^2 \times 0,001 \approx \pm 0,00003 \text{ м}^3 = \pm 30 \text{ мл}$$

При використанні будь якого випромінювального пристрою необхідно звернути увагу на діаграму направленості його випромінення, діаграма направленості для A111 приведена на рис. 2.17. Для використання у випадку резервуару циліндричної форми правильно вибрати вузький або середній

розмах променю, так як дуже широкий розмах може збити з толку через велику кількість відбиттів від стінок баку або резервуару рівнеміра.

### Вертикальна вісь, діаграма направленості



### Горизонтальна вісь, діаграма направленості

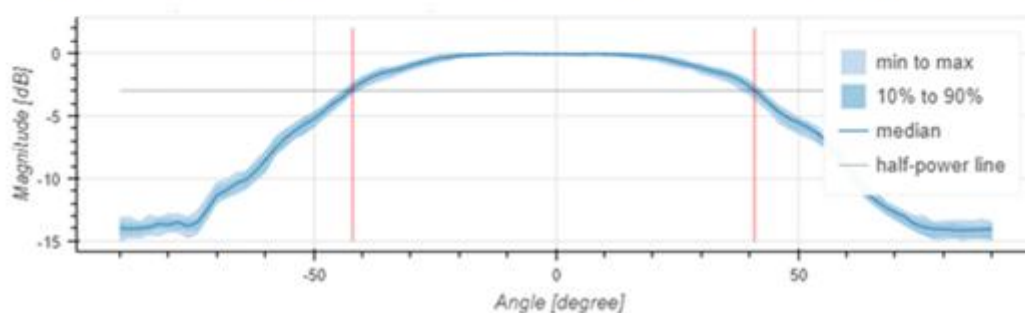


Рис. 2.17. Діаграма направленості [7]

Тобто для коректної роботи рівнеміра датчик A111 має розташовуватись на невеликій відстані, виходячи з графіків 2.16 відстань має бути до 2м. Для збільшення робочої дистанції (до 15-20м) слід використовувати додаткову конічну антену.

Слід відмітити, що в радарі реалізована функція попереднього сканування простору. Виглядає це наступним чином: після отримання команди про початок роботи датчик протягом короткого проміжку часу збирає інформацію про найближчі перепони, після чого під час роботи повідомляє про зміни в просторі. Таким чином, це дозволяє вимірювати рівень рідини в резервуарі, а не відстань до його стінок.

## Висновки до розділу

В даному розділі:

1. Була розроблена та проаналізована структурна схема електронної системи безконтактного вимірювача рівня рідини;
2. Був приведений детальний підбір електронних компонентів основних блоків схеми. Не дивлячись на те, що підбір комплектуючих відповідає досить високим економічним затратам дана система відрізняється високою надійністю, точністю, швидкодією та низьким енергоспоживанням – що відповідає технічному завданню.
3. Була розроблена схема електрична принципова, приведені розрахунки: номіналів перетворювача напруги, струм заряду Li-Ion акумулятора та споживана потужність схеми при піковому та при режимі очікування.
4. Приведений розрахунок точності абсолютної похибки вимірювання та аналіз діаграми направленості датчика.

### 3. РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

На МРП.171.081.016 Е4 показана друкована плата модуля датчика з А111.

Друкована плата виготовлена на односторонньому склотекстоліті товщиною 1,5 мм. Довжина друкованої плати 35,4 мм, ширина - 26 мм. Плата містить 2 монтажних отвори діаметром 0,8 мм і 4 отвори для кріплення діаметром 2,5 мм. Мінімальна товщина доріжок 0,4 мм, відстань між доріжками 0,5 мм. Мінімальний діаметр контактних площадок 1 мм. Для розводки плати використовувалася програма Sprint-layout. Програма є умовно безкоштовною.

На рис. 3.1 показаний скріншот процесу розробки друкованої плати з використанням програмного забезпечення.

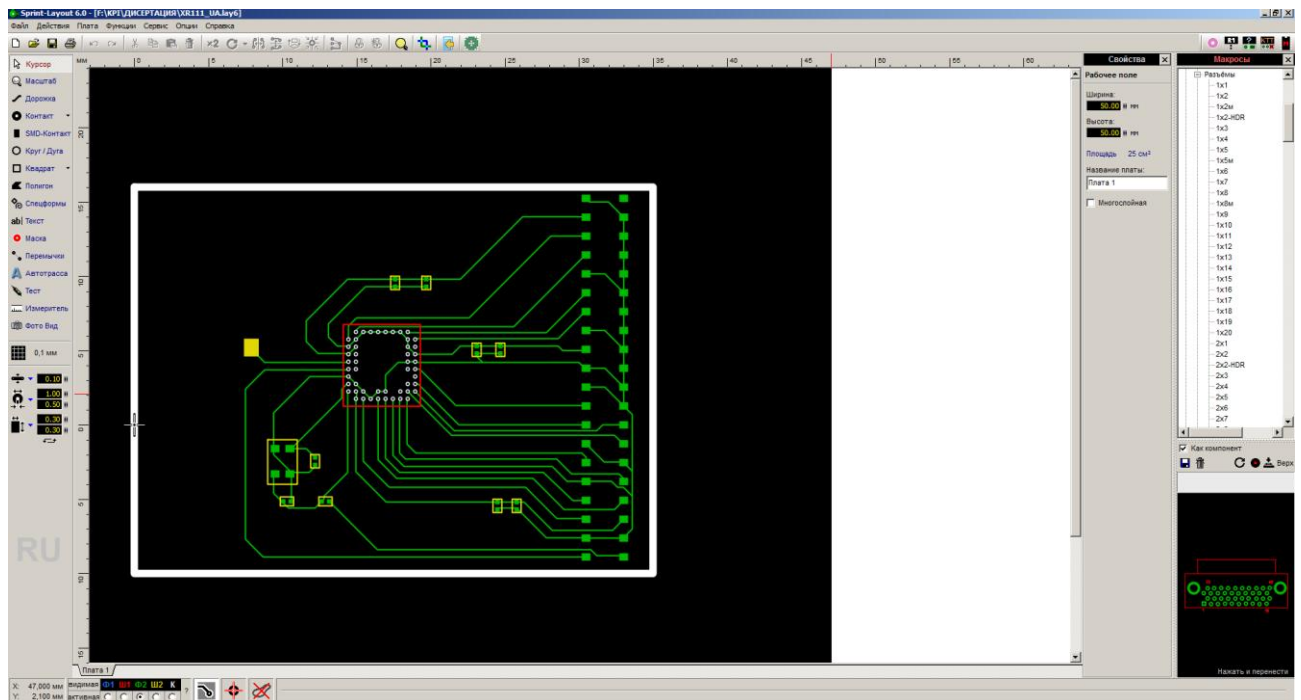


Рис. 3.1. Процес розробки друкованої плати в програмному забезпеченні Sprint Layout

Способом виготовлення друкованої плати обрано позитивний комбінований, який вважається основним при виготовленні односторонніх друкованих плат [18]. Перевагою даного методу в порівнянні з негативним є хороша адгезія провідника, підвищена надійність монтажних і перехідних отворів, високі електроізоляційні властивості. Останнє пояснюється тим, що



при тривалій обробці в хімічно агресивних розчинах діелектрична підстава захищена фольгою.

Технологічний процес виготовлення друкованої плати комбінованим позитивним методом складається з наступних етапів [19]:

- заготівля з фольгового діелектрика;
- нанесення фоторезистів і експонування через фотошаблон;
- прояв захисного рельєфу;
- хімічне міднення;
- гальванічне осадження міді;
- гальванічне нанесення захисного покриття;
- видалення фоторезистів;
- підбурювання фольги.

Структура друкованої плати повинна бути симетричною, в іншому випадку при її виготовленні ймовірність викривлення або, іншими словами, її вигину, скручування. Саме тому завод-виробник може відмовити у виготовленні такої плати, видавши рекомендації по її доробці. При цьому вимога симетричності призводить не тільки до парної кількості провідних шарів, але і до рівномірного розподілу міді в шарах (англ. Copper balancing). Особливо це важливо для плат з низьким відношенням товщини до площі (зокрема для тонких плат товщиною 0,5 мм і менше) і для проектів під автоматичний монтаж компонентів [16].

Важливим параметром друкованої плати є товщина провідних мідних шарів, яку визначають, перш за все, необхідні мінімальний зазор і мінімальна ширина провідника, а також максимальний струм, що протікає по провіднику. Чим тонше провідний шар, тим менший топологічний малюнок може бути отриманий і тим менший граничний струм витримає друкована доріжка (при інших рівних умовах – ширина провідника, частота струму, тепловідвід і ін.). Вимога до мінімальних зазору і ширині провідника виникає з щільності трасування друкованої плати. Іншим обмеженням зазвичай є топологія рекомендованого посадкового місця однієї або декількох із застосовуваних

мікросхем. Коли необхідно знизити вимоги до мінімального зазору, геометрію рекомендованого посадкового місця можна в деяких межах варіювати без шкоди для пайки. На більшості заводів-виробників друкованих плат існують стандартні топологічні норми і підвищені (так званий «5 клас точності»). Перехід на 5 клас точності зазвичай призводить до подорожчання друкованої плати в 1,5-2 рази, звідси може виникати необхідність стільки ж раз подумати над можливістю коригування топології для зниження вимог до норм.

### 3.1. Розрахунок мінімальної ширини доріжок друкованої плати

Ширина доріжки друкованої плати може бути розрахована по формулі:

$$W = \frac{S}{1,378T}$$

де

- $S$  – площа перерізу доріжки;
- $T$  – товщина доріжки.

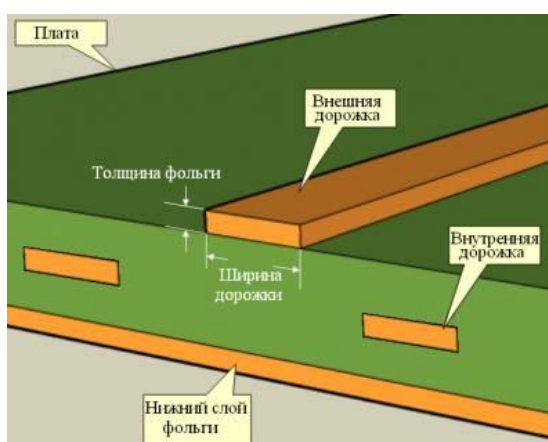
$S$  визначається по формулі:

$$S = \frac{I}{(k\Delta t^b)^{1/c}}$$

де

- $\Delta t$  – зміна температури;
- $k, b, c$  – константи із стандарту IPC-2221.

Для зовнішніх шарів  $k = 0,048$ ,  $b = 0,44$ ,  $c = 0,725$ .



3.2. Розміри доріжки на друкованій платі

Для друкованої плати, що розробляється площа перерізу доріжки, при струмі 0,3А, буде дорівнювати:

$$S = \frac{0,3}{(0,048 \times 20^{0,44})^{1/0,725}} = 3,22 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Тоді мінімальна ширина доріжки, при товщині фольгованого покриття 35 мкм, буде дорівнювати:

$$W = \frac{3,22}{1,378 \times 35} = 0,059 \text{ (мм)}$$

					МРП.171.081.016 ПЗ	Лист
						51
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки до розділу

В даному розділі було розроблено друковану плату сенсорного блоку схеми електронної системи.

1. Для розводки плати використовувалось програмне середовище Sprint Layout.
2. Способом виготовлення плати було обрано позитивний комбінований метод. Були зазначені основні технологічні етапи при виготовленні друкованої плати.
3. Проведений розрахунок мінімальної ширини доріжок друкованої плати. Ширина доріжок має бути не менше 60 мкм.

					МРП.171.081.016 ПЗ	Лист
						52
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОЇ ДИСТАНЦІЇ ТА ТОЧНОСТІ ДАТЧИКА

Метою експериментальної частини є розробка та створення робочого макету вимірювання дистанції до перешкоди, дослідження характеристик розробленої електронної системи і визначення максимальної відстані до перешкоди. Далі, на основі розробленого алгоритму можна реалізувати датчик рівня рідини для резервуару із заданими параметрами.

Для створення робочого макету при експериментальному дослідженні роботи системи було використано:

- Модуль XR112, на якому розташовується датчик A111 (рис. 4.1.).



Рис. 4.1. Модуль XR112

- Плата для підключення зі стабілізованою схемою живлення XC112 (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Перехідна плата XC112

- Raspberry Pi 3



Рис. 4.3. Raspberry Pi 3

- Роутер для зв'язку Raspberry з ноутбуком (показано рис. 4.4., але підійде будь-який комутатор з можливістю розширення локальної мережі).



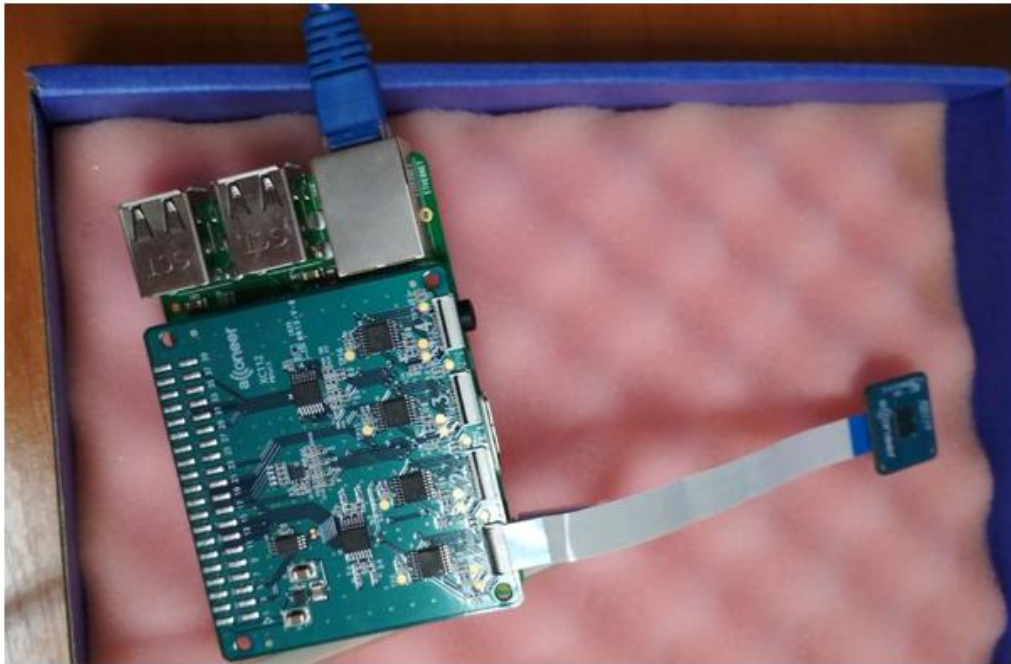
Рис. 4.4. Роутер Trendnet TW100

- Ноутбук з операційною системою Windows 7/10 або Linux

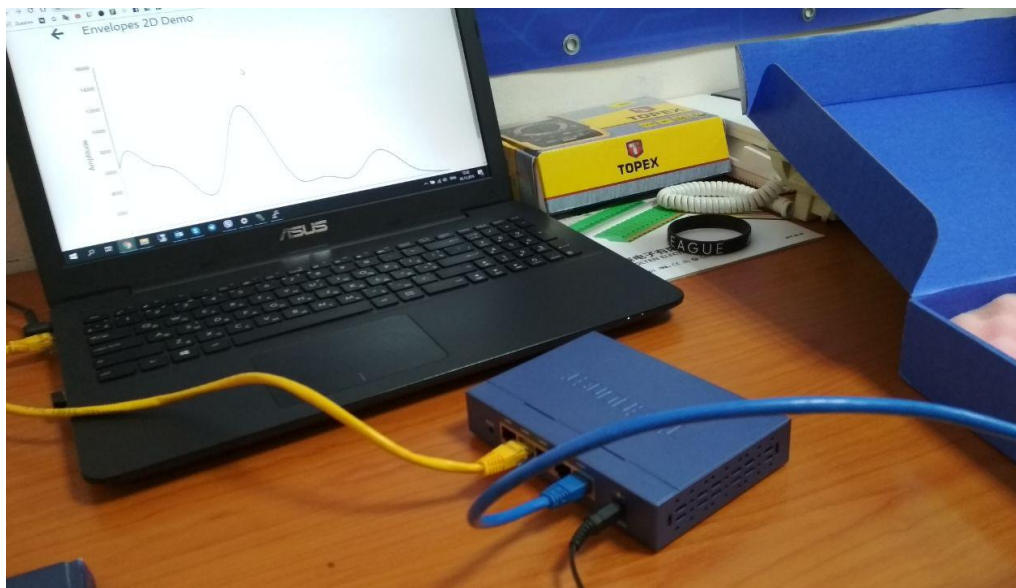


- Програмне забезпечення:
  - WinSCP для передачі файлів між Raspberry та ноутбуком при комунікації Windows 10 з Linux.
  - Putty для виклику програмних алгоритмів
  - Будь-який інтернет браузер для зняття результатів вимірювань.

В підключеному вигляді система має вигляд як показано на рис. 4.5 (а, б).



а)



б)

Рис. 4.5. Система в підключеному вигляді (а,б)

Для здійснення алгоритмів роботи системи використовується мова програмування python. Блок схема алгоритму показана на рис. 4.6.

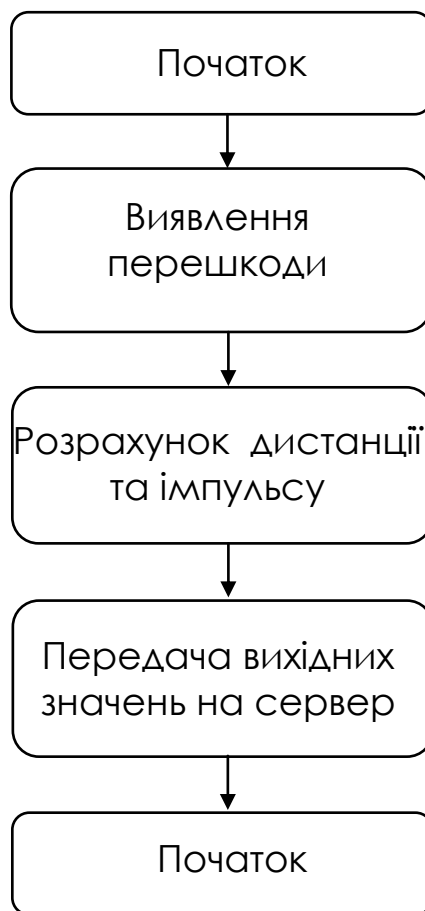


Рис. 4.6. Блок схема алгоритму макету

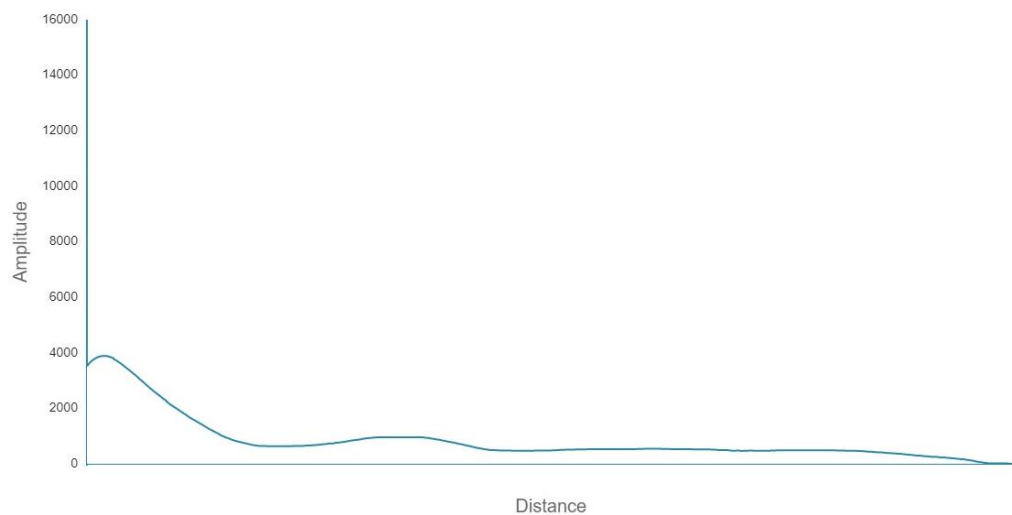
Для графічної демонстрації потрібно в веб-браузері перейти на адресу хостингу raspberrу. Даний функціонал додатку реалізовано за допомогою JavaScript, HTML, CSS.

На рис. 4.7. маємо графік:

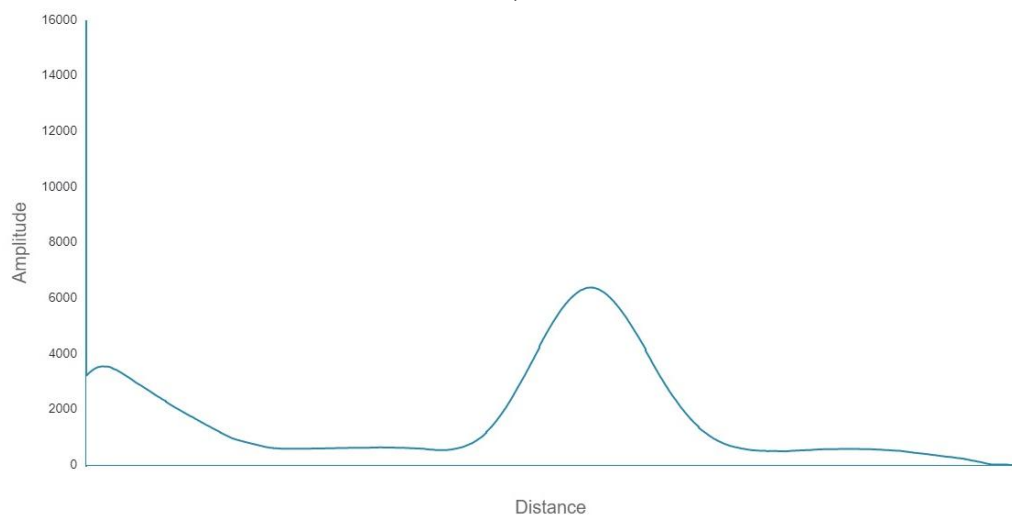
- при відсутності перешкоди (а);
- при наявності перешкоди 75 см (б);
- при наявності перешкоди 150 см (в).

На графіках видно, що ближче до 70-80 см відстані значення імпульсу прийнятого сигналу має затухання. Змінюючи відстань визначено, що імпульс чітко розпізнається приблизно до 2м. Даний результат відповідає заявленим виробником характеристикам датчика.

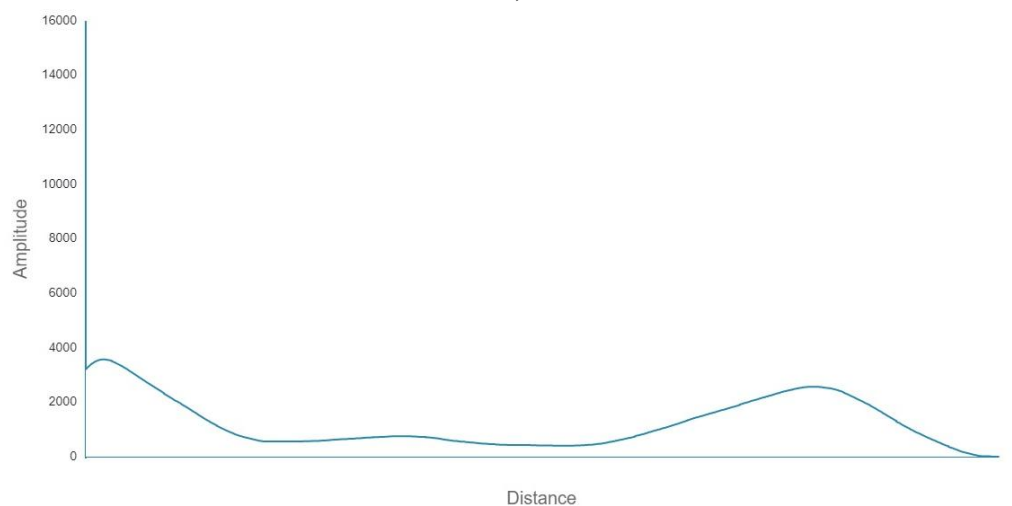




а)



б)



в)

Рис. 4.7. Графіки вимірювань

а – при відсутності перешкоди; б – при наявності перешкоди 75 см; в – при наявності перешкоди 150 см

Додатково з графіком окремим блоком виводиться максимальне значення відстані до перешкоди при максимальному амплітудному значенні. Маємо ряд значень при тих же умовах:

- при відсутності перешкоди – отримане значення 0 см;
- при відстані 75,00 см – отримане значення 75,23 см;
- при відстані 150,00 см – отримане значення 150,09 см.

The distance is:	0	sm
The distance is:	75.23	sm
The distance is:	150.09	sm

Рис. 4.8. Скріншоти виміряних значень дистанції

При першому та третьому замірі отримані значення відповідають поставленому завданню, мають похибку вимірювання <1 мм. Значення, отримане при відстані до перешкоди 75см, складає похибку 23 мм. Дана похибка може бути викликана неідеальністю конструкції макету, поверхнею перешкоди або діаграмою направленості антени датчика.

Для подальшої роботи макету в якості рівнеміра потрібно реалізувати алгоритм програми перетворення дистанції в об'єм при заданих параметрах резервуара, а саме, у випадку циліндричної форми резервуару: висота  $H$  та радіус основи  $R$ .

Нехай  $L(x) = x$  – функція, що дорівнює значенню  $x$  (відстань до перешкоди). Висота рівня рідини буде рівна:

$$L_p(x) = H - L(x),$$

Об'єм розраховується за формулою:

$$V(x) = \pi R^2 L_p(x) = \pi R^2 (H - L(x)),$$

## Висновки до розділу

В даному розділі був розроблений макет системи, що вимірює відстань до перешкоди і приведений алгоритм перетворення отриманих значень в висоту рівня та об'єм рідини в резервуарі. Експериментальним методом була досліджена робота датчика A111, в ході розробки макету було виявлено, що імпульсне значення амплітуди на фоні шуму розпізнається до 2м, що відповідає технічному завданню дисертації. Для збільшення дистанції можна застосувати, наприклад антену конічної форми.

Була досліджена точність вимірювання макету системи. Отримані значення мають похибку до  $\pm 2,5\text{мм}$ . Ця похибка може бути викликана неідеальністю конструкції макету або поверхнею перешкоди, що вимірюється.

					МРП.171.081.016 ПЗ	Лист
						59
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 5.1. Опис ідеї проекту

В табл. 5.1 описана ідея стартап-проекту.

Табл. 5.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї: створення електронної системи вимірювання рівня рідини, в основі якого датчик-радар	Автомобільна, хімічна, нафтогазова, агро-промисловість	Відносно подібних систем: <ul style="list-style-type: none"> <li>– наднизьке енергоспоживання системи;</li> <li>– зменшення конструктивно-габаритних параметрів</li> <li>– висока точність вимірювань;</li> <li>– готовність роботи в агресивних середовищах (нульовий вплив температури, тиску та густини на датчик).</li> </ul>

Табл.5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1	Наднизьке енергоспоживання	+	-	-	-			+
2	Малі габаритні параметри систем	+	-	+	-		+	

## 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічна здійсненність ідеї проекту наведено в табл. 5.3.

Табл. 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Реалізація радарної системи вимірювання рівня рідини	Розробка алгоритму, дослідження	Наявна	Доступна

## 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Табл.5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	10
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2500
Динаміка ринку	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відносно висока собівартість виробу
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Згідно з ДСТУ
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75

Табл. 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Контроль рівня в агресивному середовищі, зменшення конструктивних характеристик системи	Компанії, що займаються виготовленням рівнемірів для контролю рівня нафтогазової, хімічної продукції	Експлуатація, в різних умовах середовищ	- до продукції: Ефективність Надійність - до компанії-постачальника: Професіоналізм Чесність Технічна підтримка

Табл. 5.6. Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Конкуренція	Можливість появи нових гравців на ринку, продукція яких буде кращою за ту ж вартість	Модифікація системи з метою покращення характеристик системи

Табл 5.7. Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Використання нових компонентів	Моніторинг ринку, модернізація та використання сучасних компонентів системи – запорука конкурентоспроможності проекту	Залучення нових клієнтів за допомогою маркетингу

Табл. 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: чиста	Споживач віддає перевагу надійнішій системі	Покращення якості товару
2. За рівнем конкурентної боротьби: світова	Ідея використання радару в якості датчика рівня на ринку України відносно нова.	Розширення функціоналу та орієнтації користувачів
3. За галузевою ознакою: міжгалузева	Може використовуватись у різних сферах АСУ ТП	Розширення функціоналу та галузей застосування
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Відрізняється схемою, підбором компонентів, зовнішніми конструктивними параметрами	Покращення надійності та ефективності рівнеміра
5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Чим дешевше – тим привабливіше; Чим краще – тим	Покращення цінової політики та якості товару

	рентабельніше;	
6. За інтенсивністю: не марочна	Не жорстка конкуренція	Не агресивні форми піару

Табл. 5.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Якість	Серед подібних систем споживач обере з найкращими показниками надійності, стабільності та ефективності

Табл. 5.10. SWOT- аналіз стартап-проекту

<b>Сильні сторони:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>висока надійність</li> <li>низьке енергоспоживання</li> <li>використання резервного живлення</li> <li>малі габарити</li> <li>висока швидкодія</li> <li>точність</li> </ul>	<b>Слабкі сторони:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>висока ціна</li> </ul>
<b>Можливості:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>можливість використання електричної схеми для інших сфер застосування</li> </ul>	<b>Загрози:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>поява більш ефективних рішень контролю рівня</li> </ul>

#### 5.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Табл. 5.11. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
Ні	Так	Ні	агресивна

Табл. 5.12. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Контроль рівня в агресивному середовищі, зменшення конструктивних характеристик системи	Ефективність, стабільність та надійність	Система має наднизьке енергоспоживання, невеликі конструктивні параметри, готовність роботи в агресивних середовищах.

Табл. 5.13. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
110% відносно нашого продукту	70-80% від ціни нашого продукту	—	10000-20000грн



## Висновки до розділу

В даному розділі було послідовно проведений повний аналіз стартап-проекту. Стартап має можливість ринкової комерціалізації, так як на подібні системи наявний попит у різних сферах застосування, наявна зростаюча динаміка ринку.

З огляду на групи клієнтів (це можуть бути як роздрібні замовлення так і оптові впровадження на виробництвах) проект має перспективи реалізації так як система має ряд конкурентоспроможних характеристик: надійність, швидкодія, енергоспоживання, точність. Але, з іншого боку, найбільшою загрозою впровадження є висока ціна системи.

Для ринкової реалізації проекту доцільно використовувати маркетинговий підхід з акцентом на основні переваги системи.

					МРП.171.081.016 ПЗ	Лист
						65
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В дисертації було розроблена система вимірювання рівня рідини на основі радарного методу.

1. Були проаналізовані існуючі методи вимірювання рівня та їх сфери застосування. В якості розроблювальної системи обрано радарний метод, так як такий вимірювач має велику перспективність застосування в різних сферах, він має високу надійність, готовність роботи в агресивному середовищі при умовах підвищених або понижених параметрів температури, тиску, густини.
2. В дисертації приводиться розробка структурної та принципової схеми. Схема складається з основних блоків: живлення, що має додаткове хімічне джерело живлення у вигляді акумулятора, сенсорна частина схеми – датчик-радар Aссoneer A111, вимірювальна – мікроконтролер і, у вигляді передавальної частини, – модуль NB-IoT. Недоліком схеми є висока ціна на компоненти, але, з іншого боку, перевагою є: висока надійність та стабільність параметрів (точність, швидкодія, енергоспоживання).

В ході роботи проведені розрахунок:

- номіналів елементів схеми модуля перетворювача напруги;
  - струму заряду акумулятора;
  - споживаної потужності схеми;
  - точності вимірювання та аналіз діаграми направленості датчика.
3. Була розроблена плата друкована модуля датчика A111. Для проектування плати використовувалось програмне середовище Sprint Layout. Технологією виготовлення друкованої плати був обраний позитивний компонований метод. Були проведені розрахунки мінімальної ширини доріжок друкованої плати.
  4. Був розроблений робочий макет системи, котрий визначає відстань до перешкоди. Експериментальним шляхом були досліджені

характеристики датчика, визначені максимальна відстань від датчика до перешкоди та точність вимірювань. Характеристики розробленої системи відповідають завданню до дисертації.

5. Було проведений аналіз стартап-проекту. Можна зробити висновок, що розроблювана система має можливість ринкової комерціалізації. З огляду на групи клієнтів (це можуть бути як роздрібні замовлення так і оптові впровадження на виробництвах) проект має перспективи реалізації так як система має ряд конкурентоспроможних характеристик: надійність, швидкодія, енергоспоживання, точність. Але, з іншого боку, найбільшою загрозою впровадження є висока ціна системи.

Можна зазначити, що, при відповідній потребі кінцевого споживача, система має перспективи покращення або видозміни окремих параметрів чи модулів схеми, наприклад, встановлення конічної антени для збільшення робочої дистанції, або використання замість NB-IoT передавального модуля інших рішень (GSM, Bluetooth, Lora WAN і т.п.). Однак, отримані результати дослідження розробленої електронної системи повністю відповідають технічному завданню (точності вимірювань, енергоспоживання та швидкодії).

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. КИПиА. Приборы для измерения уровня [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mega-watt.ru/info/kaleidoskop/>.
2. Хансуваров К.И. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара / К.И. Хансуваров, В.Г. Цейтлин. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 287 с.
3. EngineersGarage [Электронный ресурс] (Level Sensors) / 18 September 2012. – Режим доступа до статті: [www.engineersgarage.com](http://www.engineersgarage.com).
4. Радарные уровнемеры: история создания и перспективы развития систем контроля уровня [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті: <https://isup.ru/articles/16/1177/>.
5. Справочное руководство инженера по измерению уровня [Электронный ресурс]. – Режим доступа до журналу: <https://www.emerson.com/documents/automation/brochure-metran-ru-ru-4692434.pdf>
6. Емкостные датчики / [Шарапов В.М., Минаев И.Г., Базило К.В., Сотула Ж.В., Куницкая Л.Г.]. – Черкассы : Брама-Украина, 2010. – 152 с.
7. Козлов Д. Ассопеер шестое чувство, – журнал Chip News, 2018 – 40 с.
8. Радиотехнические цепи и сигналы / Баскаков С.И. – Ленанд, 2016 – ISBN: 978-59710-2464-4 – 528с.
9. Determining Clock Accuracy Requirements for UART [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN2141.pdf>
10. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет / Гейтенко Е.Н. – Солон-Пресс, 2008 – ISBN: 978-5-91359-025-1 – 448с.
11. Зарядное устройство TP4056 mini-USB для литиевых аккумуляторов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod595-zaryadnoe-ystroistvo-tp4056-dlya-litievih-akkumylyatorov>

12. Модуль контроллера заряда TP4056 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mysku.ru/blog/china-stores/65087.html>
13. Електронна система безконтактного вимірювання рівня рідини: матеріали XIII-ї науково-практичної конференції «Перспективні напрямки сучасної електроніки» / Тищенко О.В., Курпас Д.В., Бевза О.М. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, – 4 квітня 2019 р. – с. 171-175.
14. В. Алексеев Модули с поддержкой NB-IoT и eMTC, производства Quectel – журнал Chip News, 2018 – 34 с.
15. Расчет ширины дорожки печатной платы в зависимости от силы тока [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://radioprogram.ru/post/257>
16. SamsPcbGuide, часть 2: Выбор структуры печатной платы [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <https://habr.com/ru/post/374311/>
17. Holloway C.L., Kuester E.F. «Closed-Form Expressions for the Current Density on the Ground Plane of a Microstrip Line, with Applications to Ground Plane Loss». IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 43, no. 5, May 1995.
18. Розробка технологічного процесу виготовлення друкованої плати [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <http://ur.co.ua/79/241-2-razrabotka-tehnologicheskogo-processaizgotovleniya-pechatnoiy-platy-dlya-shirokodiapazonnogo-generatora-impulsov.html>
19. Проектування друкованої плати [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <https://ukrbukva.net/page,3,58285-Proektirovanie-pechatnoiy-platy.html>
20. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
21. Ультразвуковой уровнемер EchoTREK [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://market.kip-postavka.ru/catalog/uriven/EchoTREK\\_Nivelco.html](http://market.kip-postavka.ru/catalog/uriven/EchoTREK_Nivelco.html)

22. Поплавковый уровнемер: подробно простым языком: [Электронный ресурс] – Режим доступа: [//kipiavp.ru/pribori/poplavkoviy-urovner.html](http://kipiavp.ru/pribori/poplavkoviy-urovner.html)
23. Буйковый уровнемер [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://sibcontrols.com/ru/bujkovyj\\_urovnyemjer](https://sibcontrols.com/ru/bujkovyj_urovnyemjer)

					МРП.171.081.016 ПЗ	Лист
						70
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		